

e-ISSN: 2459-1718



Journal of Transportation and Logistics

<http://www.ijttl.com/>



Volume 9



Issue 1



2024



İSTANBUL
UNIVERSITY
PRESS



Dizinler / Indexing and Abstracting

TÜBİTAK-ULAKBİM TR Dizin

Open AIRE

DOAJ

ERIH PLUS

SOBİAD

EBSCO Central & Eastern European Academic Source

Cabells Journalytics





Owner / Sahibi

Prof. Dr. Mehmet ADAK

İstanbul University, Faculty of Transportation and Logistics, İstanbul, Türkiye
İstanbul Üniversitesi Ulaştırma ve Lojistik Fakültesi, İstanbul, Türkiye

Responsible Manager / Sorumlu Yazı İşleri Müdürü

Prof. Dr. Mehmet ADAK

İstanbul University, Faculty of Transportation and Logistics, İstanbul, Türkiye
İstanbul Üniversitesi Ulaştırma ve Lojistik Fakültesi, İstanbul, Türkiye

Correspondence Address / Yazışma Adresi

İstanbul University, Faculty of Transportation and Logistic,
Beyazıt Campus, 34452 Fatih, İstanbul, Türkiye

E-mail: editor@iujtl.com

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtl>

<https://iupress.istanbul.edu.tr/en/journal/jtl/home>

Publisher / Yayıncı

İstanbul University Press / İstanbul Üniversitesi Yayınevi
İstanbul Üniversitesi Merkez Kampüsü, 34452 Beyazıt, Fatih,
İstanbul, Türkiye

Phone / Telefon: +90 (212) 440 00 00

Authors bear responsibility for the content of their published articles.
Dergide yer alan yazılardan ve aktarılan görüşlerden yazarlar sorumludur.

The publication language of the journal is English and Turkish.
Yayın dili İngilizce ve Türkçe'dir.

This is a scholarly, international, peer-reviewed, open-access journal published biannually in May and November.
Mayıs ve Kasım aylarında, yılda iki sayı olarak yayımlanan uluslararası, hakemli, açık erişimli ve bilimsel bir dergidir.

Yayın Türü / Publication Type: Yaygın Süreli / Periodical

EDITORIAL MANAGEMENT / DERGİ YAZI KURULU

Editors-in-Chief / Baş Editörler

Prof. Dr. Mehmet ADAK – İstanbul University, Faculty of Transportation and Logistics, Department of Transportation and Logistics, İstanbul, Türkiye – mehmet.adak@istanbul.edu.tr

Prof. Dr. Muhammet GÜL – İstanbul University, Faculty of Transportation and Logistics, Department of Transportation and Logistics, İstanbul, Türkiye – muhammetgul@istanbul.edu.tr

Co-Editors in Chief / Baş Editör Yardımcıları

Prof. Dr. Rasim İlker GÖKBULUT – İstanbul University, Faculty of Transportation and Logistics, Department of Transportation and Logistics, İstanbul, Türkiye – rasim.gokbulut@istanbul.edu.tr

Assoc. Prof. Erkan ÇELİK – İstanbul University, Faculty of Transportation and Logistics, Department of Transportation and Logistics, İstanbul, Türkiye – erkancelik@istanbul.edu.tr

Prof. Yi-Hsien WANG – Chinese Culture University, Department of Banking and Finance, Taipei, Taiwan – wyx12@ulive.pccu.edu.tw

Managing Editor / Yönetici Editör

Assoc. Prof. Bahadır Fatih YILDIRIM – İstanbul University, Faculty of Transportation and Logistics, Department of Transportation and Logistics, İstanbul, Türkiye – bahadirf.yildirim@istanbul.edu.tr

Language Editors / Dil Editörleri

Elizabeth Mary EARL – İstanbul University, Department of Foreign Languages, İstanbul, Türkiye – elizabeth.earl@istanbul.edu.tr

Statistics Editor / İstatistik Editörü

Assoc. Prof. Burcu ADIGÜZEL MERCANGÖZ – İstanbul University, Faculty of Transportation and Logistics, Department of Transportation and Logistics, İstanbul, Türkiye – burcua@istanbul.edu.tr

EDITORIAL BOARD / YAYIN KURULU

Prof. Dr. Abdullah OKUMUŞ – İstanbul University, Faculty of Business Administration, Department of Business Administration, İstanbul, Türkiye – okumus@istanbul.edu.tr

Prof. Dr. Ayşe Güldem CERİT – Dokuz Eylül University, Maritime Faculty, School of Maritime Business and Management, İzmir, Türkiye – gcerit@deu.edu.tr

Prof. Dr. Bruce C.T. Ho – National Chung Hsing University, Institute of Technology Management, Taichung, Taiwan – bruceho@nchu.edu.tw

Prof. Dr. Chelsea WHITE – Georgia Institute of Technology, Transportation and Logistics, Atlanta, GA, USA – cwhite@isye.gatech.edu

Prof. Dr. Ergün EROĞLU – İstanbul University, Faculty of Business Administration, Department of Business Administration, İstanbul, Türkiye – eroglu@istanbul.edu.tr

Prof. Dr. Goh MARK – National University of Singapore, Department of Decision Sciences, School of Business, Singapore – tligohkh@nus.edu.sg

Prof. Dr. Haluk KORKMAZYÜREK – Toros University, Faculty of Economics, Administrative and Social Sciences, Department of International Finance and Banking, Mersin, Türkiye – haluk.korkmazuyurek@toros.edu.tr

Prof. Dr. Kannan GOVINDAN – University of Southern Denmark, Department of Technology and Innovation, Odense, Denmark – kgov@iti.sdu.dk

Prof. Dr. Kulwant PAWAR – University of Nottingham, Department of Operations Management and Information Systems, Nottingham, UK – kulwant.pawar@nottingham.ac.uk

Prof. Dr. M. Mehdi AMINI – Memphis University, Department of Marketing & Supply Chain Management, Memphis, TN, USA – mamini@memphis.edu

Prof. Dr. Malgorzata PANKOWSK – University of Economics, Department of Informatics, Katowice, Poland – malgorzata.pankowska@ue.katowice.pl

Prof. Dr. Mehmet TANYAS – Maltepe University, Faculty of Business and Management Sciences, Department of International Trade and Logistics, İstanbul, Türkiye – mehmettanyas@maltepe.edu.tr

Prof. Dr. Mukesh Kumar BARUA – Indian Institute of Technology Roorkee, Department of Management Studies Uttarakhand, India – mukesh.barua@ms.iitr.ac.in

Prof. Dr. Murat KIYILAR – İstanbul University, School of Business, Department of Finance, İstanbul, Türkiye – muratkiy@istanbul.edu.tr

Prof. Dr. Nachiappan SUBRAMANIAN – University of Sussex, Business School, SPRU - Science Policy Research Unit, Brighton, Sussex House, Falmer Brighton, United Kingdom – n.subramanian@sussex.ac.uk

Prof. Dr. Ömer ÖZKAN – Cyprus West University, Faculty of Law, Department of Law, Famagusta, North Cyprus – ozkanhukuk@yahoo.com

Prof. Dr. Özcan KILIÇ – University of Wisconsin-River Falls, College of Business and Economics, Department of Management and Marketing, River Falls, WI, USA – ozcan.kilic@uwrf.edu

Prof. Dr. Sadettin ÖZEN – Maltepe University, Faculty of Business Administration and Management Sciences, İstanbul, Türkiye – sadettinozen@yahoo.com

Prof. Dr. Samuel Fosso WAMBA – Toulouse Business School, Department of Information Systems and Data Science, Toulouse, France – s.fosso-wamba@tbs-education.fr

Prof. Dr. Sanjay MISRA – Covenant University, Department of Electrical and Information Engineering, OTA, Nigeria – sanjay.misra@covenantuniversity.edu.ng

Prof. Dr. Seung-Chul KIM – Hanyang University, Department of Operations and Service Management, Seoul, Korea – sckim888@hanyang.ac.kr



EDITORIAL BOARD / YAYIN KURULU

Prof. Dr. Sihyun PAIK – Yanbian University of Science & Technology, School of Business, Yanji, Jilin, China – sh-paik@yust.edu

Prof. Dr. Talha HARCAR – Penn State University, Department of Business, Pennsylvania, USA – tdh13@psu.edu

Prof. Dr. Turan PAKSOY – Necmettin Erbakan University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Aviation Management, Konya, Türkiye – tpaksoy@erbakan.edu.tr

Prof. Dr. Vedat SARIKOVANLIK – İstanbul University, School of Business, Department of Finance, İstanbul, Türkiye – vedsari@istanbul.edu.tr

Prof. Dr. Yavuz GÜNALAY – Bahçeşehir University, Faculty of Economics, Administrative and Social Sciences, Department of Logistic Management, İstanbul, Türkiye – yavuz.gunalay@eas.bau.edu.tr

Prof. Dr. Tuncay ÇELİK – Kayseri University, Faculty of Applied Sciences, Department of International Trade and Logistics, Kayseri, Türkiye – tcelik@kayseri.edu.tr

Assoc. Prof. Diego ESCOBARI – University of Texas Rio Grande Valley, Department of Economics and Finance, Texas, USA – diego.escobari@utrgv.edu

Assoc. Prof. Ebru DEMİRCİ – İstanbul University, Faculty of Transportation and Logistics, Department of Transportation and Logistics, İstanbul, Türkiye – edemirci@istanbul.edu.tr

Assoc. Prof. Eren ÖZCEYLAN – Gaziantep University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Gaziantep, Türkiye – ezceylan@gantep.edu.tr

Assoc. Prof. Eugene Y. C. WONG – Hang Seng University of Hong Kong, Department of Supply Chain and Information Management, Shatin, Hong Kong – eugene.wong@oocl.com

Assoc. Prof. Giovanni SATTA – University of Genoa, Genoa, Department of Economics, Italy – satta@economia.unige.it

Assoc. Prof. Gültekin ALTUNTAŞ – İstanbul University, Faculty of Transportation and Logistics, Department of Transportation and Logistics, İstanbul, Türkiye – altuntas@istanbul.edu.tr

Assoc. Prof. Hakan DEMİREL – Zonguldak Bülent Ecevit University, Maritime Faculty, Ship Machinery Management Engineering Department, Zonguldak, Türkiye – hakandemirel@beun.edu.tr

Assoc. Prof. Halit ÖZEN – Yıldız Technical University, Faculty of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, İstanbul, Türkiye – ozen@yildiz.edu.tr

Assoc. Prof. Lincoln C. WOOD – University of Otago, Department of Management, Dunedin, New Zealand – lincoln.wood@otago.ac.nz

Assoc. Prof. Muhammet GÜL – Munzur University, Faculty of Health Sciences, Department of Emergency Aid and Disaster Management, Tunceli, Türkiye – muhammetgul@munzur.edu.tr

Assoc. Prof. Shao Hung GOH – Singapore University of Social Science, School of Business, Clementi, Singapore – shgoh015@unisim.edu.sg

Assoc. Prof. Sigal KAPLAN – The Hebrew University of Jerusalem, Faculty of Social Sciences, The Department of Geography, Jerusalem, Israel – sigal.kaplan@mail.huji.ac.il

Assoc. Prof. Syed Masiur RAHMAN – King Fahd University of Petroleum & Minerals, Center for Environment & Water Research Institute, Dhahran, Saudi Arabia – smrahman@kfupm.edu.sa

Assoc. Prof. Taih-Cherng LIRN – National Taiwan Ocean University, Department of Shipping and Transportation Management, Keelung, Taiwan – tedlirn@email.ntou.edu.tw

Assoc. Prof. Xiaolei WANG – Tongji University, School of Economics and Management, Shanghai, China – xlwangiris0420@gmail.com

EDITORIAL BOARD / YAYIN KURULU

Assoc. Prof. Zehra BOZBAY – İstanbul University, Faculty of Business, Department of Marketing, İstanbul, Türkiye – zehrat@istanbul.edu.tr

Assoc. Prof. Wei LI – Central South University, Faculty of Civil Engineering, Department of Railway Engineering, Changsha, China – lewei@csu.edu.cn

Asst. Prof. Özge Nalan BİLİŞİK – Yıldız Technical University, Department of Industrial Engineering, İstanbul, Türkiye – oznalan@yildiz.edu.tr

Asst. Prof. Banu Yüksel ÖZKAYA – Hacettepe University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Ankara, Türkiye – byuksel@hacettepe.edu.tr

Dr. Cafer AVCI – Yalova University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Yalova, Türkiye – cafer.avci@yalova.edu.tr

Dr. Melike ERDOĞAN – Düzce University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Düzce, Türkiye – melikeerdogan@duzce.edu.tr

Dr. Rahimeh NEAMATIAN MONEMI – University of Southampton, Business School Southampton, CORMSIS Centre for Operational Research, Southampton, United Kingdom – r.n.monemi@gmail.com

TABLE OF CONTENTS / İÇİNDEKİLER

RESEARCH ARTICLES / ARAŞTIRMA MAKALELERİ



- 1 Enhancing Network Performance in Mitigating the Impact of Traffic Accidents with Full User Information
Seyyed N. S. Boushehri, Hossain Poorzahedy, Reza Mahmoudi
- 20 Trafik Kaza Süresinin Tahmini İçin Topluluk Ağacı ve Sinir Ağları Performansının Karşılaştırılması
A Comparison of the Performance of Ensemble Tree and Neural Networks for The Prediction of Traffic Accident Duration
Hüseyin Korkmaz, Mehmet Ali Ertürk, Mehmet Adak
- 48 Mathematical Modelling Approaches for Integrated Single Machine Scheduling and Electric Vehicle Routing Problem
İclal Bağcı, Hande Öztop, Zeynel Abidin Çil
- 60 Impact of Countries' Logistics Performance on Their Exports: The Case of G-8 Countries
Yaşar Turna
- 68 An Evaluation of the logistics Performance Index Using the ENTROPY-based ORESTE Method
Deniz Çıray, Ümit Özdemir, Süleyman Mete
- 83 Road-mapping for smart and lean tools with a sustainability perspective: A new model proposal
Mehmet Akif Gündüz, Sercan Demir, Turan Paksoy
- 97 Belirsizliklerin Finansal Piyasalara Simetrik ve Asimetrik Etkisi: BIST Ulaştırma Endeksi Üzerine Bir Araştırma
Symmetric and Asymmetric Effects of Uncertainties on Financial Markets: A Study of the BIST Transportation Index
Ercüment Doğru
- 112 Customer Dissatisfaction Towards Chatbot Services of e-Commerce Shopping Sites: A Qualitative Analysis
Burak Can Altay, Naim Çetintürk
- 121 Bulanık CRITIC ve Bulanık EDAS Yöntemleri ile 3 Boyutlu Yazıcı Seçimi
3D Printer Selection by Using Fuzzy CRITIC and Fuzzy EDAS Methods
Nihan KABADAYI, Sündüs DAĞ
- 139 Yerel Tedarik Zincirleri ve Afetler: Yerel Tedarik Zincirlerinin Önemi
Local Supply Chains and Disasters: The Importance of Local Supply Chains
İpek Özenir

TABLE OF CONTENTS / İÇİNDEKİLER

REVIEW ARTICLES / DERLEME MAKALELERİ

- 153** Yalın Lojistik Üzerine Bibliyometrik Bir Analiz: WOS Veri Tabanı (1994-2022)
Biometric Analysis on Lean Logistics: WOS Database (1994 –2022)
Handan Öztemiz
- 175** A Bibliometric Analysis of Simulation Studies in the Field of Container Logistics Using VOSviewer
Mehmet Gürtürk, Bükra Doganer Duman

Enhancing Network Performance in Mitigating the Impact of Traffic Accidents with Full User Information

Seyyed Nader Shetab Boushehri¹ , Hossain Poorzahedy² , Reza Mahmoudi³ 

¹(Assoc. Prof.), Isfahan University of Technology, Department of Industrial and Systems Engineering, Isfahan, Iran

²(Prof.), Sharif University of Technology, Department of Civil Engineering Tehran, Iran

³(Dr.), University of Calgary, Department of Civil Engineering, Alberta, Canada

ABSTRACT

This paper presents a novel approach aimed at bolstering network resilience against traffic accidents, particularly when users possess complete information about accident locations. Two new measures are introduced to evaluate the performance of the network and the importance of a link within the network. In addition, an objective function is designed to quantify optimal trip scheduling following an accident that guides investment decisions in network infrastructure. Additionally, we propose a model for addressing the Accident Improvement Problem and put forth a heuristic algorithm to solve this model. To illustrate the feasibility and effectiveness of the proposed methodologies, we present and analyze two illustrative examples, one at a small scale and the other at a medium scale. The findings underscore how the occurrence of accidents can markedly alter the importance of a link within the network during time. Unlike the prevailing trend in existing studies, which often overlook the repercussions of accidents on traffic flow along other links, our research highlights the importance of considering the impact of newcomers on the routes of existing travelers within the network. These findings demonstrate that such considerations can significantly influence the overall performance of the network in the event of an accident.

Keywords: Network performance measure, Link importance, Accident improvement problem, Accident prevention.

1. Introduction

Traffic accidents leave considerable undesirable effects in terms of property losses, injuries, and deaths, as well as family disruptions and societal economic disutility. In addition to personal costs, there are significant social damages that include those related to Emergency medical services, hospitals and legal (Karatas and Yakıcı, 2021). An accident can make the performance of the transportation network unsustainable and results in noticeable costs upon other users of the networks in the form of traffic delays and congestion.

Traffic accidents exact a heavy toll, resulting in significant property damage, injuries, fatalities, and profound societal and economic consequences. These consequences encompass personal hardships, including physical injuries and emotional trauma, as well as broader societal burdens, such as increased demands on healthcare systems and legal processes. Moreover, traffic accidents disrupt the normal functioning of transportation networks, leading to noticeable costs for other users, such as traffic delays and related inconveniences (Ji et al., 2019; Zhang and Xiong, 2017).

The occurrence of traffic accidents not only reduces road capacity but also unpredictably extends travel times for network users, resulting in a diminished level of service and increased traffic congestion. Traffic congestions as well affect the performance of the network and its reliability and sustainability, significantly (Sharma and Chauhan, 2022). To circumvent the uncertainties associated with accident-related delays and the anxiety of potentially missing scheduled arrivals, travelers are inclined to seek alternative routes as soon as they become aware of an accident, irrespective of the severity of the delay (Qiao et al., 2014). Consequently, users are willing to incur certain costs to avert uncertain delays, which they perceive concerning their origin-destination (O-D) travel time. In cases where suitable alternative routes are unavailable, travelers are forced to endure prolonged delays caused by the accident, resulting in traffic congestion and highly inefficient urban transportation network performance, a detriment to both network managers and users (Mahmoudi et al., 2019). On the other hand, the absence of viable substitute routes not only

Corresponding Author: Reza Mahmoudi E-mail: reza.mahmoudi@ucalgary.ca

Submitted: 28.09.2023 • **Revision Requested:** 31.12.2023 • **Last Revision Received:** 15.01.2024 • **Accepted:** 15.01.2024 • **Published Online:** 04.03.2024



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

affects those directly impacted by the accident but also causes unwarranted delays for users on the designated alternative routes. Depending on the duration of the accident and its residual effects on traffic flow, this may create a second wave of substitute route seekers, and so on. In this process, a portion of the O-D trips becomes unsuitable, adding to the overall disruption (Poorzahedy and Bushehri, 2005). Therefore, it is imperative to conduct further research to comprehensively explore and analyze the ramifications of traffic accidents on the performance of urban transportation networks.

Research on the evaluation of street network performance under uncertain future conditions can be broadly categorized into two main groups (Chen et al., 2011; Lam, 1999). These groups address distinct aspects of network performance and disruptions. The first group of studies focuses on recurrent congestion, which arises from random fluctuations in demand and supply (capacity) within the network. In particular, the fluctuations in supply may, in part, result from user behavior. In recurrent congestion scenarios, users typically experience less time pressure because they have the opportunity to employ preventive strategies, such as selecting alternative routes or adjusting their departure times to mitigate anticipated delays (Huang et al., 2018). Conversely, the second group of studies aims to assess network performance in the presence of non-recurrent congestions. Non-recurrent congestions manifest as disruptions caused by events with both long-term and short-term effects. Long-term effects can stem from events like earthquakes, floods, or network maintenance operations, while short-term effects often result from incidents such as traffic accidents (Yu et al., 2016). In scenarios characterized by non-recurrent congestion, travelers face greater time constraints and a higher degree of uncertainty, as these disruptions are typically unexpected. Unlike recurrent congestion, where travelers have the opportunity to plan ahead, non-recurrent congestion events necessitate real-time decision-making and adaptation to the immediate circumstances.

The modeling of non-recurrent congestion in transportation networks initially emerged as an endeavor to quantify the adverse consequences stemming from capacity reductions on specific network links (Chen et al., 2002; Dhahir and Hassan, 2019). Within the realm of urban transportation networks, various types of network disruption problems, each targeting different objectives or outcomes, have been explored (Adel  et al., 2019). Some studies aim to pinpoint the links most in need of improvement or protection as a resource-allocation measure (Murray-Tuite and Mahmassani, 2004; Poorzahedy and Bushehri, 2005; Sohn, 2006). While significant work has been undertaken to evaluate and enhance network performance in non-recurrent congestion scenarios characterized by long-term effects, the literature is relatively sparse when it comes to non-recurrent congestion with short-term impacts, such as traffic accidents. There is a dearth of research addressing both the analysis of network performance and the development of measures to improve it in such situations. Sans  and Soumis (1991) introduced a method for assessing network performance under uncertain conditions, presenting a 3T model specifically designed to analyze traffic accidents in transportation networks. This model encompasses three distinct phases: before the accident, immediately after the accident, and after users have received information about the accident occurrence. Poorzahedy and Bushehri (2003) formulated two problems related to accident management in urban street networks, namely Accident Prevention (AP) and Accident Mitigation (MP). AP focuses on enhancing critical links to maximize a network performance metric, while MP seeks to optimize network connectedness by maximizing a different performance measure. Both of these problems are grounded in the concept of link importance. Huang et al. (2018) conducted an analysis of the impact of non-recurrent congestion on drivers' speed choices and aggressive behaviors using a substantial dataset of taxi floating car data.

A widely adopted approach in the literature for enhancing the resilience of transportation networks against the impacts of accidents involves the identification of critical nodes or links within the network and allocating resources to them strategically. In this regard, Zhou and Wang (2017) integrated a ranking method with an innovative mesoscopic model aimed at assessing the performance of urban transportation networks and identifying critical links within these networks, considering the vulnerability and potential of each link. The proposed model was based on the cell transmission model and was applied to real-scale networks, demonstrating its practicality and effectiveness in improving urban transportation systems. Drawing on graph theory, transportation network design, and urban planning principles, Psaltoglou and Calle (2018) proposed a methodology for identifying critical points in urban transportation networks, with the goal of optimizing the allocation of city resources. They defined the criticality of a node as the connectivity and activity density of that node over time. To evaluate the connectivity of a node, they took into account various factors, including vehicle capacity, distance, and frequency. For assessing activity density, they relied on indicators such as population density, land use, and urban form. Ghavami (2019) developed a multi-criteria integrated model for identifying the most crucial between cities roads within the network to inform decision-making in disaster scenarios. The proposed method was an integrated Geographic Information System (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) approach to sort data, identify evaluation criteria and rank links using the Analytic Hierarchy Process (AHP) technique. Vod k et al. (2019) introduced a deterministic algorithm designed to identify the most critical links within the network. The proposed algorithm was centered on the search for the shortest cycles and introduced a measure based on standard deviation to assess the vulnerability of a link. The main advantage of their algorithm was being rapider than algorithms that necessitate a comprehensive scan of the entire network, such as the brute-force algorithm. Tian et al. (2019) developed an approach to identify key links within urban transportation networks. Their method primarily relied on the temporal-spatial distribution of traffic congestion and encompassed three key phases: identifying congestion states, computing the time distribution of congestion states, and determining critical links within the network. They

utilized time-interval coverage as a metric to classify a link as either critical or non-critical. Lin and Lin (2022) focused on the evaluating the vulnerability of transportation systems and proposed a novel framework to identify the most vulnerable components in transportation networks. They developed a nonlinear programming considering equilibrium constraints and users' route choices. They also suggested a short-term planning and a long-term planning vulnerability measure to identify vulnerable components. Vodák et al. (2022) investigated the problem of identifying combinations of road links that can cause severe network disruption when blocked simultaneously. To this end, they used three modified metaheuristic algorithms, including Simulated Annealing, Guided Local Search, and Variable Neighborhood Search, and compared their performance. Applying these algorithms to four real world networks, they showed that Simulated Annealing outperformed other algorithms. Iliopoulou and Makridis (2023) a multi-objective optimization was introduced for identifying critical disruption scenarios in public transport networks. They employed a transit assignment model to gauge passenger reactions to these disruptions. The method generates combinations of transit network link failures that maximize unsatisfied demand and additional travel time, encompassing passengers with no viable travel alternatives and those whose optimal paths are changed. Their results indicated that optimization-based attacks can reveal scenarios with significant passenger disconnections and elevated detour costs, outperforming single-objective and centrality-based approaches in identifying critical disruptions.

In this paper, we introduce a novel method aimed at enhancing the performance of urban networks during instances of non-recurrent congestion, with a particular emphasis on traffic accidents. Our approach centers on the identification of crucial network links, and subsequently, the optimization of these links using the limited available resources to achieve the maximum improvement in the performance of the network. In comparison to existing research, this study offers several notable contributions:

- In contrast to most existing studies, which often assume that the alteration of travelers' routes due to accidents on their intended paths has a negligible effect upon the level of service offered to other travelers, so that they keep on using their usual paths and that their trips remain suitable (Ghavami, 2019; Poorzahedy and Bushehri, 2003, 2005), this paper takes a more realistic approach. We acknowledge that in the real world, the redirection of travelers can have significant repercussions on network performance and user experiences. As such, we address this assumption to better align our model with real-world scenarios.
- some prior research has focused on evaluating trip suitability based on the moment when the network state changes due to an accident (i.e., transitioning to state). These studies have utilized the metric of "remaining time-hour" to gauge network performance after the accident (Ghavami, 2019; Poorzahedy and Bushehri, 2005). In this study, we introduce an improved measure, the mean total "suitable trip-hour" in the network after accident occurrence, to more accurately assess network performance, considering the suitability of trips over time.
- Previous approaches solely measure link importance by considering the presence or absence of that link (Ghavami, 2019; Poorzahedy and Bushehri, 2005). This study not only assess a link's importance in facilitating suitable paths for network users but also gauge its significance in providing alternative routes to users who have another accident-struck link on their intended paths as well.
- Our proposed approach in this paper places a strong emphasis on network reliability in the face of incidents hampering flows. We introduce a relevant and effective importance index for network links, with the primary objective of solving a network design problem aimed at enhancing the network's resilience to such incidents. While the problem we address is of significant importance to cities worldwide, especially those grappling with congestion, to the best of the authors' knowledge only a limited number of studies have explored this issue to date (El-Maissi et al., 2020; Iliopoulou and Makridis, 2023; Ma et al., 2022). This underscores the novelty and importance of our research in addressing a critical challenge faced by urban transportation networks.

According to these discussions, Table 1 presents a brief comparison between the current study and previous studies.

- **Realistic Approach to Traffic Redirection:** Acknowledges the significant impact of traffic redirection on network performance and user experience, challenging the assumption that traffic alterations due to accidents are negligible.
- **Advanced Network Performance Measurement:** Introduces the "suitable trip-hour" metric, providing a more accurate assessment of network performance post-accident over time.
- **Comprehensive Link Importance Assessment:** Evaluates link importance not only by their presence but also by their role in providing alternative routes during accidents.
- **Network Reliability and Resilience:** Focuses on enhancing network resilience to incidents, introducing a novel importance index for network links to solve network design problems related to congestion and accidents.
- **Accident Improvement Model:** A new model is proposed for addressing the Accident Improvement Problem.
- **Heuristic Algorithm:** The paper proposes a heuristic algorithm as a practical solution to the model, highlighting its efficacy through illustrative examples.

Table 1. A brief comparison between the current study and previous studies

Main features	Previous Research	Current study
Network Performance Measures	Limited to standard metrics like travel time and delay	Introduction of new measures considering full user information
Approach to Traffic Accidents	Focus on long-term effects or general congestion	Specific focus on accident impact and immediate response
Traffic Redirection Impact	Assumes negligible impact of traffic redirection due to accidents	Realistically assesses significant impacts of traffic redirection on network performance and user experience
Link Importance Assessment	Measures link importance based on presence or absence	Evaluates link importance in facilitating suitable paths and providing alternative routes during accidents
Modelling Techniques	Traditional models without real-time data integration	Novel model integrating real-time accident information
Solution Methods	Conventional algorithms	Advanced heuristic algorithm for practical application
Impact Analysis	Overlooks the dynamic nature of accidents	Detailed analysis of the temporal impact of accidents on links

The remainder of this paper follows this structure: Section 2 introduces the relevant definitions, underlying assumptions, and the notation employed. In Section 3, we present our proposed model. Section 4 outlines the solution procedure suggested to solve the proposed model. To demonstrate the practicality and effectiveness of our algorithm, we solve and analyze several numerical examples of varying scales, encompassing both small and medium sizes, in Section 5. Lastly, in Section 6, we conclude the study and outline potential avenues for future research.

2. Notations

Suppose that accidents take place in the network links (intersections can be represented by links). The state of the network at any given time can be represented by $c=(\dots,c_{ij}\dots)$, where $c_{ij} = 1/0$ shows that in the meanwhile *no/an accident* has occurred in link (i,j) . Therefore, $c^\circ=(1,\dots,1,\dots,1)$ is the state of the network with all links in no accident condition. This state is called the prevalent state. The following notations are used in the modelling the problem in this study:

V	the set of nodes
A	the set of links
$N(V, A)$	the urban transportation network
O	the set of origins
D	the set of destinations
n	the number of nodes where $n = V $
P	the set of O-D pairs
(k, s)	a pair of O-D nodes
d^{ks}	demand of (k,s)
c°	the current state of the network
c	the state of the network after an accident
t^{ks}	shortest travel time of in prevalent state
$t^{ks}(c)$	the travel time from origin k to destination s in state c ($t^{ks}(c^\circ) = t^{ks}$)
$t^{js}(c)$	the average travel time from node j to destination s when the network is in state c .
p^{ks}	the set of paths in the network from origin k to destination s
x_p^{ks}	the user equilibrium flow in path p during prevalent state where $p \in p^{ks}$ and $(k, s) \in P$
x_{ij}	the user equilibrium flow in link (i,j)
t_{ij}	the average travel time on link (i,j)
m_{ij}	the number of passengers on link (i,j)
m_p^{ks}	the number of passengers travelling between origin k and destination s on path p
m_{ij}^{ks}	the number of passengers on link (i,j) originating from k and heading to s
m_{ij}^s	the number of passengers on link (i,j) going to s , where $m_{ij}^s = \sum_{k \in O} m_{ij}^{ks}$
P_{ij}	the probability of no accidents occurring in link (i,j) during a specific time period, e.g. a peak period or rush hour
C_{-ij}°	the state of the network in which only link (i,j) has been affected by an accident

3. The proposed model

In this section, we present a model designed to enhance network performance when accidents occur. The core concept of our model revolves around the identification of *important* links in the network, and the allocation of resources to these links within the resource constraints. Investing in the *important* links is expected to yield the most substantial improvements in network performance.

3.1. Network's Performance Measure

Assume that the probability of an accident occurring in a particular link during the analysis period is known. This probability can be estimated based on historical data from previous periods. Additionally, we presume that all users within the network receive accident information promptly following its occurrence, typically through channels such as radio broadcasts or variable message signs. It is a common trend that travelers who initially planned to traverse the link affected by the accident on their routes to their respective destinations often opt to modify their routes, irrespective of the accident's severity. This study considers the following assumptions:

Assumption 1. The probability of an accident occurring over a link is uniformly distributed along the length of that particular link. If this condition is not met, the links are redefined by segmenting them into smaller links to meet this condition.

Assumption 2. Accident events are assumed to be independent of one another, both within the network as a whole and within individual links of the network.

Assumption 3. Travelers along a given path are considered to be uniformly distributed along the entire path. Based on this assumption, travelers are uniformly distributed along every individual link within a path. Furthermore, it can be demonstrated with ease that the number of trip-makers on a link within a path is directly proportional to the travel time associated with that specific link on the path. Additionally, the number of trip-makers traveling along a particular path between an O-D pair is proportional to the travel time associated with that specific path (Detailed proofs can be found in the Appendix).

To facilitate further discussions, we classify trips into two distinct groups: *suitable* trip and *unsuitable* trips. For a predefined standard threshold θ^{ks} (e.g., $\theta^{ks} = 1.2$), trip from origin k to destination s in state c is *suitable* if $t^{ks}(c) < \theta^{ks} \cdot t^{ks}$; otherwise, it is categorized as *unsuitable*. t^{ks} is shortest travel time from k to s in *prevalent* state. A *suitable* trip with a duration of $t^{ks}(c)$ has t^{ks} *suitable trip-hours*.

Regarding the accident occurring within a link, trip-makers within the network can be classified into three distinct groups. The first group consists of travelers currently situated within the accident-affected link. If the accident lies ahead of these travelers, they have no choice but to proceed through it, rendering their trips *unsuitable*. Conversely, if the accident is located behind them as they travel, they continue their journeys unimpeded, ultimately reaching their destinations *suitably*. The second group includes travelers who have the accident-affected link on their routes from origin to destination and receive immediate accident notifications. Upon receiving this information, they make route decisions based on their perceptions of link travel times before the accident, despite the possibility of these times changing due to route adjustments made by other travelers in response to the accident. The third group consists of travelers whose routes do not include the accident-affected link. These travelers maintain their original pre-accident routes. However, their travel times can fluctuate, either increasing or decreasing, as a result of route modifications made by passengers who initially had the accident-affected link on their pre-accident routes. Consequently, the journeys of travelers in this group may become *unsuitable* due to these alterations. Previous studies have typically overlooked the impact of newcomers on the routes of existing travelers within the network.

To effectively gauge user satisfaction and subsequently improve network performance during traffic accidents, the development of a robust objective or evaluation criterion is essential. The commonly used objective function in previous studies, namely the *total suitable* trips in the network after an accident, lacks the required precision. This criterion fails to distinguish between short and long trips impacted by accidents. Therefore, in this study, we introduce a new metric as our objective function, termed *Total Suitable Trip-Hours*. This measure provides a more nuanced and accurate assessment of the network's performance by considering not only the suitability of trips but also their duration, ultimately offering a more comprehensive evaluation of user satisfaction.

Let $E(c)$ and $E(c^\circ)$ represent the *mean total suitable trip-hours* in the network in states c and c° , respectively, where c denotes the current state of the network and c° is the state of the network without any accidents across the entire network. The Performance Index (PI) of the network in state c can be defined as follows:

$$PI(c) = E(c)/E(c^\circ) \quad (1)$$

Based on the assumptions, the *mean total suitable trip-hours* of the travelers on link (i,j) heading to destination s in state c of the network, $E_{ij}^s(c)$, can be determined as follows:

$$E_{ij}^s(c) = \sum_{k \in O} \left[m_{ij}^{ks} t^{ks} - m_{ij}^{ks} \left(t^{ks} / 2 \right) \bar{Z}_{ij}(c) \right] Z^{jks}(c) \quad (2)$$

where $\bar{Z}_{ij}(c)$ is a binary variable, taking the value of 1 if an accident occurs in link (i,j) in state c , and 0 otherwise. $Z^{jks}(c)$ is a binary variable equal to 1 if a trip from k to s passing through node j remains suitable in state c , and 0 otherwise. Eqs. (1) and (2) result the following formulation to obtain $PI(c)$:

$$PI(c) = \sum_{j \in V} \sum_{s \in D} \sum_{k \in O} \left(\Phi^{jks} - \psi^{jks}(c) \right) . Z^{jks}(c) \quad (3)$$

where:

$$\Phi^{jks}(c) = \sum_{\rho \in \rho^{ks}} \sum_{(i,j) \in B^j} X_{\rho}^{ks} . t_{ij} . \delta_{ij}^{ks} , \rho . t^{ks} / \sum_{(k,s) \in P} d^{ks} . \left(t^{ks} \right)^2 \quad (4)$$

$$\psi^{jks}(c) = \sum_{\rho \in \rho^{ks}} \sum_{(i,j) \in B(j)} X_{\rho}^{ks} . t_{ij} . \delta_{ij}^{ks} , \rho . \left(t^{ks} / 2 \right) . \bar{Z}_{ij}(c) / \sum_{(k,s) \in P} d^{ks} . \left(t^{ks} \right)^2 \quad (5)$$

additionally, $B(j)$ is the set of links with their head node j . δ_{ij}^{ks} is a binary variable, equal to 1 if link (i,j) belongs to path ρ from origin k to destination s , and 0 otherwise. Please refer to the Appendix for a comprehensive explanation and detailed proofs of eqs. (2) and (3).

With these considerations in place, we define the *Expected Performance Measure (EPM)* of a network under the effects of traffic accidents as follows:

$$EPM = E[PI] = \sum_{c \in C} p(c) . PI(c) \quad (6)$$

where $p(c)$ is the probability of state c of the network, and C is the set of the states that may happen to the network.

3.2. Link Importance Measure

In order to effectively enhance the performance of an urban transportation network in its ability to withstand the impacts of traffic accidents while operating under full user information, it is crucial to possess a guiding measure for identifying the weak links of the network. Improving these vulnerable links can lead to a substantial upgrade in the overall network performance. The importance of link (m,n) in the network, I_{mn} , can be defined as the rate of change of *EPM* with respect to the change in the probability of non-failure o the prevalent situation on this link as follows:

$$I_{mn} = \partial(EPM) / \partial(P_{mn}) \quad (7)$$

Based on this definition, the following approximation can be employed to quantify the importance of a link within the network:

$$I_{mn} \approx (p(c^{\circ}) / p_{mn}) \left\{ \left[1 - PI(c_{-mn}^{\circ}) \right] + \sum_{(u,v) \in A} \left[(1 - P_{uv}) / P_{uv} \right] \left[PI(c_{-uv}^{\circ}) - PI(c_{-uv,-mn}^{\circ}) \right] \right\} \quad (8)$$

where $(p(c^{\circ}) / p_{mn}) \left[1 - PI(c_{-mn}^{\circ}) \right]$ measures the reduction in the network performance when only link (m,n) experiences

failure due to traffic accidents. This term, indeed, represents the importance of link (m,n) in providing suitable paths for network users. However, $(p(c^\circ)/P_{mn})\sum_{(u,v)\in A}\left[\left(1 - P_{uv}\right)/P_{uv}\right]\left[PI\left(c^\circ_{-uv}\right) - PI\left(c^\circ_{-uv,-mn}\right)\right]$ signifies the pair-wise importance of link (m,n) in combination with the other links in the network. Hence, this term shows the importance of link in providing alternative paths to the destinations of the users deprived of access to another accident-struck link. Essentially, it indicates whether link (m,n) belongs to one or more effective alternative paths. Detailed proofs for eq. (8) can be found in the Appendix.

Substituting eq. (3) in will result:

$$\begin{aligned} \left(p(c^\circ)/P_{mn}\right)\left[1 - PI(c^\circ_{-mn})\right] &= \left(p(c^\circ)/P_{mn}\right)\left[1 - \sum_{j\in V}\sum_{s\in D}\sum_{k\in O}\Phi^{jks}\cdot Z^{jks}(c^\circ_{mn})\right] \\ &+ \left(p(c^\circ)/P_{mn}\right)\left[\sum_{j\in V}\sum_{s\in D}\sum_{k\in O}\psi^{jks}(c^\circ_{-mn})\cdot Z^{jks}(c^\circ_{mn})\right] \end{aligned} \quad (9)$$

where in eq. (9), the first term measures the importance of link (m,n) in providing suitable paths for network users, while the second term reflects the importance of link (m,n) in facilitating *suitable* trips for passengers using this link. In addition, based on eqs. (6) and (7), the changes in the *EPM* over a specific alternative improvement action of w for any link can be obtained as follows:

$$d(EPM) = \sum_{(m,n)} \frac{\partial(EPM)}{\partial(P_{mn})} d(P_{m,n}) d(P_{mn}) = P_{mn} \alpha_{m,n,\forall w}^w \sum_{(m,n)} \frac{\partial(EPM)}{\partial(P_{mn})} P_{m,n} \alpha_{mn}^w = \sum_{(m,n)} I_{mn} P_{mn} \alpha_{mn}^w \quad (10)$$

where an alternative improvement action refers to a candidate action to reduce the likelihood of a traffic accident occurring on a specific link, consequently enhance its probability of survival. α_{mn}^w is a ratio that quantifies the extent to which the survival probability of link (m,n) is augmented through the implementation of the alternative action w .

3.3. The Proposed Model for Accident Improvement Problem

In this section, building upon the measures introduced in the previous sections, we formulate a mathematical programming, named *Accident Improvement Problem (AIP)*, to improve the network's performance in mitigating the adverse effects of traffic accidents as follows:

$$\begin{aligned} &AIP : \\ &Max \sum_{(m,n)\in A} \sum_{w=1}^{W_{mn}} \left[I_{mn} P_{mn} \alpha_{mn}^w \right] Z_{mn}^w \\ &s.t. \\ &\quad \sum_{w=1}^{W_{mn}} Z_{mn}^w \leq 1 \quad \forall (m,n)\in A \\ &\quad \sum_{(m,n)} \sum_{w=1}^{W_{mn}} c_m^{wl} n Z_{mn}^w \leq B^l \quad \forall l = 1, \dots, L \\ &\quad Z_{mn}^w \in \{0, 1\} \quad \forall (m,n)\in A, w \in \{1, \dots, W_{mn}\} \end{aligned} \quad (11)$$

where Z_{mn}^w is a binary variable, which is 1 if action w is selected for link (m,n) , 0 otherwise. W_{mn} is the total number of alternative improvement actions to reduce the likelihood of traffic accidents on link (m,n) . L denotes the number of distinct resource types available for the implementation of improvement actions. B^l represents the available quantity of recourse type l , and c_{mn}^{wl} is the resource requirement of resource type l necessary for the execution of alternative action w on link (m,n) . In the context of the AIP, decision-makers must determine which alternative actions should be applied to each link in order to achieve the maximum improvement in the network's performance against the impact of traffic accidents. Hence, the objective function in model (11) maximizes the cumulative enhancement in the survival probabilities of the candidate links within the network, with weights assigned based on their importance in the network. The first set of constraints in this model ensures that, for each candidate link, at most one action can be chosen. The second set of constraints represents the resource constraints, ensuring that the utilization of resources does not surpass the available quantities.

4. A solution procedure

Most of the problems related to transportation planning and network design at the network level are highly complex, making it impossible to solve any proposed mathematical model for real-world networks (Mahmoudi et al., 2022; Mahmoudi, 2019). Various algorithms have been employed within the transportation science literature to address the inherent complexity of the proposed mathematical programming model (Agrawal et al., 2022; Vodák et al., 2022). In this section, a solution algorithm is developed to solve the suggested *AIP* model. This algorithm requires the flow levels on each link of the network subsequent to the occurrence of the accident(s). These post-accident flow volumes are then utilized to calculate the travel times experienced by passengers in the aftermath of the accident state of the network, c . Then, the obtained travel times must be compared with the corresponding values of the travel times in the *prevalent* state, c° , to determine whether the travel times for these passengers have become *unsuitable* or not.

During this process, it becomes imperative to determine new routes for passengers who initially intended to travel via the accident-affected link(s) but can no longer do so due to the accidents. Moreover, the solution procedure must estimate the increase or decrease in flow volumes on the links of the new and previous paths, stemming from the redirection of these passengers to the new paths. To this end, the algorithm must estimate the O-D demand for the impacted passengers after the occurrence of the accidents. Given that these passengers opt for alternative paths after the accidents, their trip origins no longer align with their original trip origins. In such cases, the new trip origins can be established as the first nodes at which passengers arrive immediately following the accidents. As a result, the proposed solution algorithm necessitates the following pieces of information:

$T_{mn,uv}^{js}$ the demand for destination s , reaching node j as the first node immediately following the accident incidents in link (m,n) and $(u,v) \in A, (j,s) \in V \times D$

$X_{ij}^{+mn,uv}$ additional flow on link (i,j) , due to failures of links (m,n) and (u,v)

$X_{ij}^{mn,uv}$ the portion of the trip volume on link (i,j) that was initially intended to pass through links (m,n) or (u,v) before the accident occurrence on these links, but the accidents prevented this from happening

Taking into account that $x_\rho^{ks} \left(\frac{t_{ij}}{t^{ks}} \right)$ and $\frac{1}{2}x_\rho^{ks}$ are the demand and expected demand, for destination s reaching node j in link (i,j) , in state $c_{-mn,-uv}^\circ \left(\bar{Z}_{ij}(\cdot) = 0 \right)$, and is hit by an accident, respectively, $T_{mn,uv}^{js}$ is estimated as follows:

$$T_{mn,uv}^{js} = \sum_{i \in B(j)} \sum_{k \in O} \sum_{\rho \in \rho^{ks}} \frac{x_\rho^{ks} t_{ij}}{t^{ks}} \left[1 - \frac{\bar{Z}_{ij}(c_{-mn,-uv}^\circ)}{2} \right] \delta_{ij,\rho}^{ks} \cdot \delta_{mn,uv,\rho}^{ks} \quad (12)$$

where $\delta_{mn,uv,\rho}^{ks}$ is equal to 1 if links (m,n) or (u,v) belong to path ρ from origin k to destination s , and 0 otherwise. $x_{ij}^{+mn,uv}$ will be estimated as the algorithm outputs. Finally, $x_{ij}^{mn,uv}$ is estimated using the following equation:

$$X_{ij}^{mn,uv} = \sum_{(k,s) \in P} \sum_{\rho \in \rho^{ks}} x_\rho^{ks} \delta_{ij,\rho}^{ks} \delta_{mn,uv,\rho}^{ks} \quad (13)$$

The proposed algorithm is a heuristic procedure to compute the importance of the links and select the appropriate actions to improve their performances, all while adhering to resource constraints. The algorithm can be broken down into the following steps:

Step 0. Preparation. Define $N(V,A)$ by specifying V and A . Input the survival probabilities, P_{uv} , link cost functions, $t_{uv}, \forall (u,v) \in A$, and the O-D demands, d_{ks} , and travel time suitability standards, $\theta^{ks}, \forall (k,s) \in P$.

Step 1. Equilibrium flow computation before accident occurrence. Solve the user equilibrium flow problem for the provided demand d_{ks} , and compute the path flows $(x_\rho^{ks}, \forall \rho \in \rho^{ks}, \forall (k,s) \in P)$, and the corresponding equilibrium link flows and travel times $(x_{uv}, t_{uv}, \forall (u,v) \in A)$

Step 2. Specification of the trip condition after the accident. For each link $(m,n) \in A$, follow these steps to determine the network's condition in a state where two links have failed due to accident occurrences, with one of these links being link (m,n) :

(a) Obtain Φ^{jks} for each $k \in O$, $\psi^{jks}(c_{-mn}^\circ)$ for each $k \in O$, $T_{mn,uv}^{js}$ for each $(u,v) \in A$ and $x_{ij}^{mn,uv}$ for each (ij) and $(u,v) \in A$ for all $(j,s) \in V \times D$, by using eqs. (4)-(5), (12) and (13), respectively.

(b) For each link $(u,v) \in A$, using the equilibrium link travel times t_{uv} in *Step 1*, for all $(j,s) \in V \times D$, assign $T_{mn,uv}^{js}$ to the

network $(V, A_{-mn,-uv})$, excluding links (m,n) and (u,v) , by using employing all-or-nothing procedure. Compute the additional flow resulting from the failures of links (m,n) and (u,v) , $x_{ij}^{+mn,+uv}$, for all links $(i,j) \in A_{-mn,-uv}$. Determine the link flows and travel times after the accidents in links (m,n) and (u,v) , for each link $(i,j) \in A_{-mn,-uv}$:

$$x_{ij}^{new} = x_{ij} - x_{ij}^{mn,uv} + x_{ij}^{mn,+uv} \tag{14}$$

$$t_{ij}^{new} = t_{ij} - (x_{ij}^{new}) \tag{15}$$

(c) For each $(j,s) \in V \times D$ compute the shortest (j,s) path travel time before and after the accident occurrences, $t^{js}(c^o)$ and $t^{js}(c_{-mn,-uv}^o)$, using t_{ij} (from Step 1) and t_{ij}^{new} (from Eq. (15)), respectively.

(d) If $(t^{js}(c_{-mn,-uv}^o) - t^{js}(c^o)) \leq (\theta^{ks} - 1)t^{ks}$, where the right-hand-side is the maximum allowable delay tolerance for (k,s) pair, set $Z^{jks}(c_{-mn,-uv}^o)$ (i.e., declare the trips of the passengers from k to s , who visit node j as the first node on their path right after the simultaneous accident occurrences in links (m,n) and (u,v) , are *suitable*), otherwise, set $Z^{jks}(c_{-mn,-uv}^o)$ (that is, these trips end *unsuitable*).

Step 3. Compute the importance of link (m,n) . Compute the importance of link (m,n) in mitigating the impacts of accidents in the network, I_{mn} , by using Eq. (8) and the information obtained in Step 2.

Step 4. Compute link importance for all links. Repeat Steps 2 and 3 for all links in the network to calculate their respective importance values.

Step 5. Solve AIP model. Solve AIP model using $I_{mn}, \forall (m,n) \in A$ and an appropriate integer programming solution method.

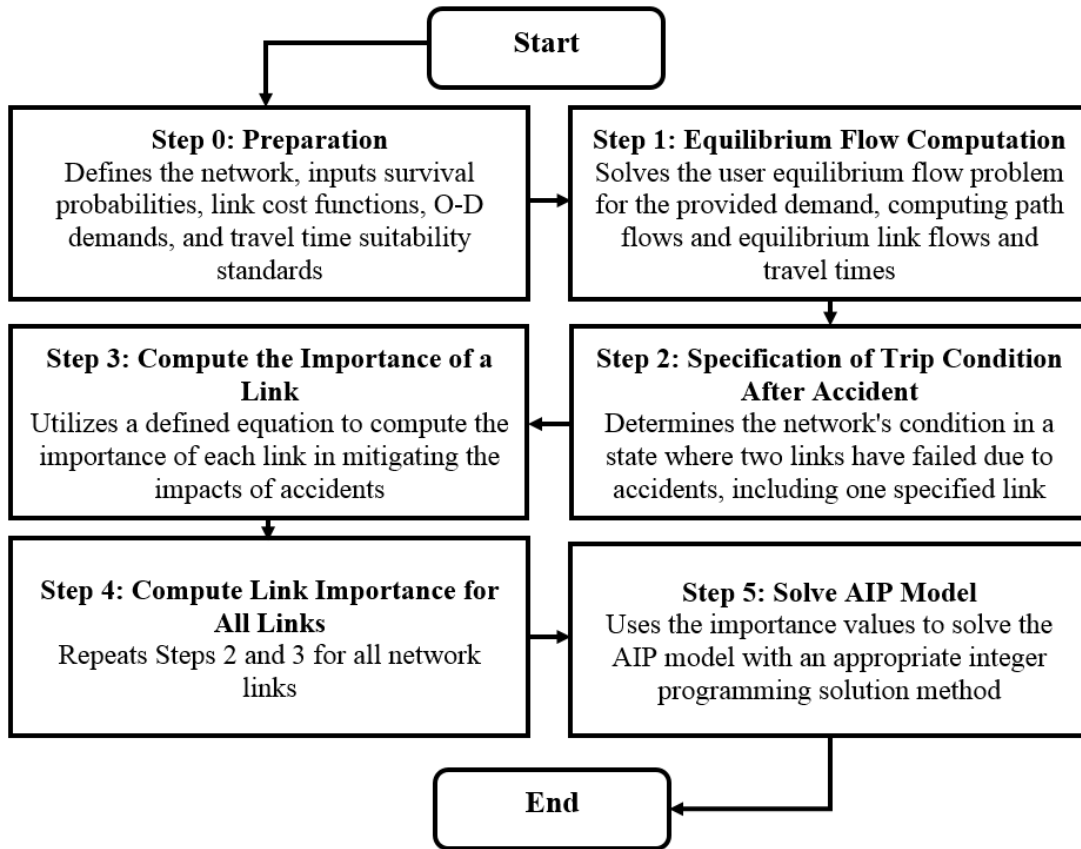


Figure 1. The flowchart of the proposed algorithm

5. Illustrative examples

In this section, we demonstrate the practicality of the proposed approach and examine its outcomes through the solution of two numerical examples in small and medium sizes. The provided algorithm has been implemented in Gauss software and executed on a PC with a 2.26 gigahertz Core i7 CPU and Windows Seven, utilizing 4 GB of RAM.

5.1. A small Scale Example: Improving Network Performance by Preventive Actions

Figure 2 shows an example network with 10 nodes and 18 links. Table 2 presents the parameters of the link travel time functions in the form of $t_{ij} = a_{ij} + b_{ij}x_{ij}^4$. The link survival probabilities (representing the likelihood of no accidents occurring in a specific time period) are assumed to be 0.98 for all links within the network. The demand from the two origins 1 and 2, heading to the two destinations 6 and 7 is identical and amounts to 3500 trips per hour. In this example, we consider an average vehicle occupancy of 1 person, and $\theta^{ks} = 1.1, \forall (k, s) \in P$, meaning that a passenger's travel time is deemed unsuitable if it increases by more than 10% due to an accident in the network.

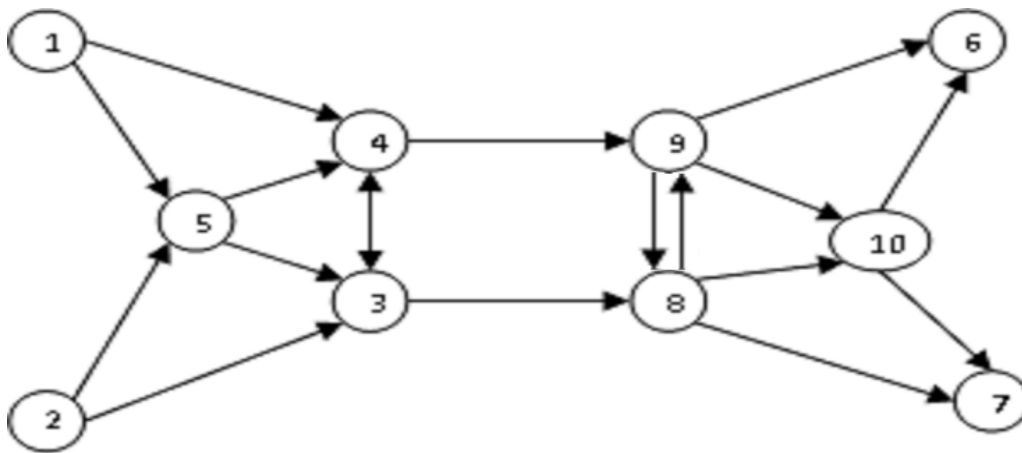


Figure 2. Example network 1

Table 2. The network specification of Example 1.

Link (i, j)	$a_{ij} (\times 10^{-2} hr)$	$b_{ij} (\times 10^{-4} hr / (1000veh / hr)^4)$	Link (i, j)	$a_{ij} (\times 10^{-2} hr)$	$b_{ij} (\times 10^{-4} hr / (1000veh / hr)^4)$
(1,4)	5	0.030	(5,4)	3	0.030
(1,5)	3	0.030	(8,7)	5	0.030
(2,3)	5	0.030	(8,9)	3	0.030
(2,5)	3	0.030	(8,10)	3	0.030
(3,4)	3	0.030	(9,6)	5	0.030
(3,8)	3	0.030	(9,8)	3	0.030
(4,3)	3	0.030	(9,10)	3	0.030
(4,9)	3	0.010	(10,6)	3	0.030
(5,3)	3	0.030	(10,7)	3	0.030

Three alternative actions are available to mitigate accident levels in a link. The first action involves the deployment of patrol police, where the presence of 1 unit of patrol police on a street increases its "survival" probability (the likelihood of no accidents occurring) by 1% of its prevalent state. The second alternative includes investing in the enhancement of street infrastructure, such as signs, signals, markings, geometric design, and maintenance, in addition to choosing the first alternative. In this case, when 1 unit of patrol police is present, 1 unit of investment boosts the survival probability by 1.5% of the prevalent state. Lastly, the third alternative is the utilization of an "immediate response system," which is implemented in conjunction with the previous two alternatives. This system rapidly detects accidents and promptly clears the accident scene, effectively making the accident almost unnoticeable or bearable to other passengers. This results in a near 100% survival probability. In addition, it is assumed that $B^1 = 4$ units of patrol police, $B^2 = 3$ units of money to invest for the street condition enhancement, and $B^3 = 2$ units of the immediate response system are available resources for implementing these actions.

The results of the proposed algorithm for this problem are reported in Table 3. In this table, I_{mn}^a shows the importance of link (m,n) in providing suitable trips for passengers within this link, I_{mn}^b indicates the importance of link (m,n) in providing suitable

trips to travelers in the network, and I_{mn}^c represents the importance of link (m,n) in providing alternative routes to the passengers whose original routes have been disrupted by traffic accidents. The heuristic Effective Gradient procedure proposed by Ahmed (1983) is applied to solve the AIP model. This procedure determines a set of links for investment and the best action for each selected link, in order to maximize the enhancement in the survival probabilities of vulnerable links within the network.

Table 3. Results of the proposed algorithm for Example1.

Link (m, n)	$t_{mn}(hr)$	$x_{mn}(1000veh / hr)$	I_{mn}^a	I_{mn}^b	I_{mn}^c	I_{mn}	Z_{mn}^*
(1,4)	0.0529	5.5930	0.0522	0.0000	0.0179	0.0701	-
(1,5)	0.0300	1.4070	0.0080	0.0000	0.0025	0.0105	-
(2,3)	0.0517	4.9105	0.0452	0.0000	0.0133	0.0585	-
(2,5)	0.0301	2.0895	0.0119	0.0000	0.0039	0.0158	-
(3,4)	0.0300	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0003	-0.0003	-
(3,8)	0.0348	6.3175	0.0361	0.1225	0.0558	0.2143	3
(4,3)	0.0300	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0030	-0.0030	-
(4,9)	0.0335	7.6825	0.0439	0.2747	0.0963	0.4149	3
(5,3)	0.0300	1.4070	0.0080	0.0000	0.0039	0.0120	-
(5,4)	0.0301	2.0895	0.0119	0.0000	0.0062	0.0181	-
(8,7)	0.0517	4.9070	0.0451	0.0000	0.0235	0.0687	-
(8,9)	0.0300	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-
(8,10)	0.0300	1.4105	0.0081	0.0437	0.0183	0.0700	-
(9,6)	0.0529	5.5895	0.0522	0.0000	0.0296	0.0818	-
(9,8)	0.0300	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-
(9,10)	0.0301	2.0930	0.0120	0.0648	0.0281	0.1049	1
(10,6)	0.0300	1.4105	0.0081	0.0598	0.0237	0.0915	-
(10,7)	0.0301	2.0930	0.0120	0.0887	0.0358	0.1365	2

Note. Z_{mn}^* represents choice of alternative action w to upgrade link (m,n) survival probability.

Here are some key findings from the analysis:

a. As it is clear from Table 3, in Example Network 1, links (3,8) and (4,9) in Figure 2 have the highest importance. This is because passengers traveling from origins 1 and 2 to destinations 6 and 7 must pass through either of these two links. These links play a critical role in providing *suitable* and alternative routes to connect O-D pairs in the network. Link (4,9) (with b_{49}) has a higher importance index than link (3,8) (with b_{38}) due to its higher capacity.

b. Links (1,4), (1,5), (2,3), and (2,5), which connect origins 1 and 2 to the network, have low importance values. This is partly because travelers who have not yet started their trips after the accident will only do so if their trips become *suitable*. For these links, I_{mn}^b , which is the importance of link (m,n) for providing suitable routes to the trip-makers in the network, is zero. This is another reason for their low importance levels.

c. Links leading to destinations 6 and 7, such as links (8,7), (10,7), (10,6), and (9,6), have higher importance than links starting at origins 1 and 2. This is because a larger number of passengers in the network rely on these links at the time of the accident to end their trips suitably, compared to the links starting at origins. Recall that only passengers who are certain of completing their trips suitably will begin their trips.

d. Links (3,4), (4,3), (8,9), and (9,8), have zero equilibrium flow in the prevalent state, as shown in Table 3. Hence, the respective values of I_{mn}^a (for within the link passengers) and I_{mn}^b (for the network passengers) are zero. Moreover, the corresponding values of I_{mn}^c for links (3,4) and (4,3) are negative. This indicates that these two links not only fail to contribute to forming alternative routes for passengers when accidents occur in other links in the network but, by redirecting new flow to other congested links, they turn some previously suitable routes into unsuitable ones.

e. The congestion resulting from the redirection of passengers due to traffic accidents can either increase or decrease the importance of certain links in the network. This is because new route choices can lead to increased congestion on some links while reducing it on others, thereby making previously suitable paths unsuitable or vice versa. Table 4 shows the importance values of the links in example 1 when the congestion effects of redirected flows over the links, whether positive or negative, are not considered. To compute the importance of all links in this case, x_{ij}^{new} in eq.(30) is replaced by x_{ij} . Links (3,8) and (4,9) are two most important links in the network that together carry all demand in the network. Comparing the respective link importance values for these two links in Table 3 and 4 shows that the importance values with due considerations of the congestion effects of redirected flows over the links in Table 3 are higher than the respective values without these effects, shown in Table 4. This is because when either of these links is involved in an accident, its flow diverts to other link, increasing congestion and the likelihood of more trips becoming *unsuitable* in the network. This phenomenon does not happen when the algorithm does not consider this

diversion in Table 4. As another example, consider links (3,4) and (4,3), which have lower importance values with the diversion of flow in Table 4 (negative values) than without this diversion in Table 4. The reason is that when traffic diversion occurs, some passengers choose these links in alternative paths, causing congestion on other paths and rendering their trips *unsuitable*.

f. Table 3 reveals that model recommends action 3 for the most important links, (3,8) and (4,9), and actions 2 and 1 for the next most important links, (10,7) and (9,10), respectively.

Table 4. The importance of links in example 1 when the congestion effect of the redirected flows in the network is not considered.

Link (m,n)	I_{mn}^a	I_{mn}^b	I_{mn}^c	I_{mn}	Link (m,n)	I_{mn}^a	I_{mn}^b	I_{mn}^c	I_{mn}
(1,4)	0.052	0.000	0.016	0.068	(5,4)	0.012	0.000	0.006	0.018
(1,5)	0.008	0.000	0.003	0.011	(8,7)	0.045	0.000	0.021	0.067
(2,3)	0.045	0.000	0.014	0.059	(8,9)	0.000	0.000	0.000	0.000
(2,5)	0.012	0.000	0.004	0.016	(8,10)	0.008	0.044	0.02	0.071
(3,4)	0.000	0.000	0.000	0.000	(9,6)	0.052	0.000	0.025	0.077
(3,8)	0.036	0.106	0.049	0.192	(9,8)	0.000	0.000	0.000	0.000
(4,3)	0.000	0.000	0.000	0.000	(9,10)	0.012	0.065	0.027	0.104
(4,9)	0.044	0.128	0.059	0.231	(10,6)	0.008	0.06	0.026	0.094
(5,3)	0.008	0.000	0.005	0.013	(10,7)	0.012	0.089	0.036	0.136

5.2. A Medium Scale Example: Sioux Falls Network

The purpose of solving this example problem is to demonstrate the effectiveness of the proposed solution algorithm in solving the AIP problem in larger networks. Figure 3 shows the Sioux Falls network, with 24 nodes and 76 links, which is a widely recognized test network in transportation studies. The network specifications, the O-D demands, and the link survival probabilities are taken from Poorzahedy and Bushehri (2003). For this example it is assumed that the average car occupancy in the network is 1, $\theta^{ks} = 1.1, \forall (k, s) \in P, B^1 = 30, B^2 = 15$ and $B^3 = 5$.

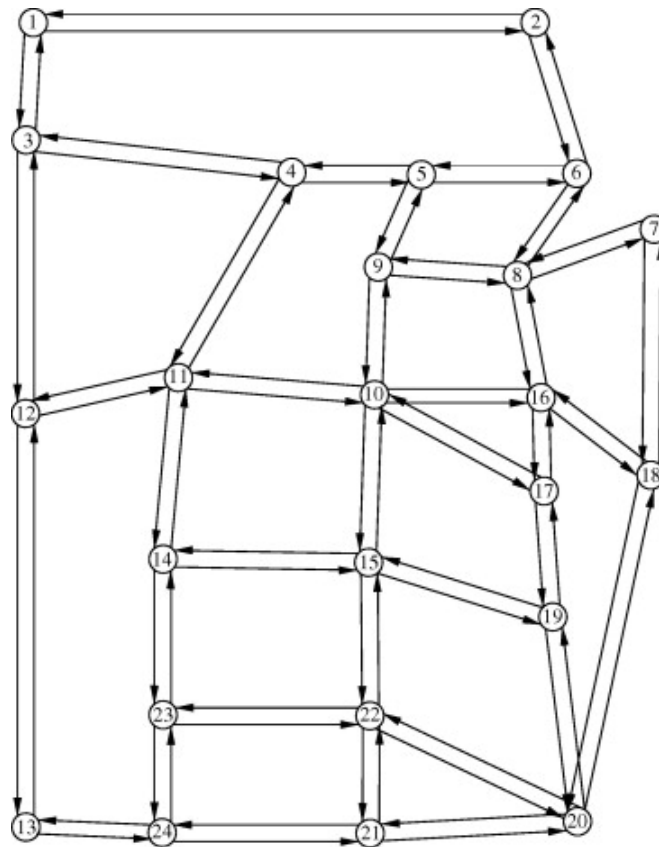


Figure 3. The urban street network of Sioux Falls

When the proposed solution algorithm is applied to this problem, taking into account the available resources, it yields the link importance values as presented in Table 5. This table also shows the selected actions for the chosen links. These actions aim to maximize link survival, ensuring that passenger trips remain suitable to the greatest extent possible by strengthening the links to prevent accidents or mitigate the impacts of accidents that have occurred, thereby maintaining the network’s performance close to the *prevalent* state.

Table 5. Results of the proposed solution algorithm for AIP problem in Sioux Falls.

Link (m, n)	I_{mn}	z_{mn}^*	Link (m, n)	I_{mn}	z_{mn}^*
(1,2)	0.0056	0	(2,1)	0.0097	0
(1,3)	0.0034	0	(3,1)	0.0192	0
(2,6)	0.0086	0	(6,2)	0.0111	0
(3,4)	0.0127	0	(4,3)	0.0309	2
(3,12)	0.0220	1	(12,3)	0.0091	0
(4,5)	0.0255	1	(5,4)	0.0481	3
(4,11)	0.0039	0	(11,4)	0.0066	0
(5,6)	0.0156	0	(6,5)	0.0072	0
(5,9)	0.0219	1	(9,5)	0.0362	2
(6,8)	0.0182	0	(8,6)	0.0282	2
(7,8)	0.0123	0	(8,7)	0.0172	0
(7,18)	0.0112	0	(18,7)	0.0085	0
(8,9)	0.0307	2	(9,8)	0.0220	1
(8,16)	0.0328	2	(16,8)	0.0303	2
(9,10)	0.0116	0	(10,9)	0.0023	0
(10,11)	0.0073	0	(11,10)	0.0034	0
(10,15)	0.0164	0	(15,10)	0.0182	0
(10,16)	0.0319	2	(16,10)	0.0196	0
(10,17)	0.0089	0	(17,10)	0.0219	1
Link (m, n)	I_{mn}	z_{mn}^*	Link (m, n)	I_{mn}	z_{mn}^*
(11,12)	0.034	2	(12,11)	0.0231	1
(11,14)	0.0363	2	(14,11)	0.0169	0
(12,13)	0.0121	0	(13,12)	0.0069	0
(13,24)	0.0197	1	(24,13)	0.0282	1
(14,15)	0.0045	0	(15,14)	0.0234	3
(14,23)	0.0244	1	(23,14)	0.0252	1
(15,19)	0.0176	0	(19,15)	0.0094	0
(15,22)	0.0106	0	(22,15)	0.0069	0
(16,17)	0.0073	0	(17,16)	0.0036	0
(16,18)	0.0058	0	(18,16)	0.0131	0
(17,19)	0.0201	1	(19,17)	0.0165	0
(18,20)	0.0216	1	(20,18)	0.0113	0
(19,20)	0.0244	1	(20,19)	0.0118	0
(20,21)	0.0176	0	(21,20)	0.0182	0
(20,22)	0.0345	2	(22,20)	0.0267	1
(21,22)	0.0265	3	(22,21)	0.0246	3
(21,24)	0.0169	0	(24,21)	0.0269	3
(22,23)	0.0163	0	(24,22)	0.0196	1
(23,24)	0.0107	0	(24,23)	0.0094	0

6. Conclusions and future research directions

Advancements in information technology have paved the way toward the availability of online information and even navigation aids to circumvent congestion and flow obstacles. Many modern vehicles, both private and public, now come equipped with a range of audio-visual technologies as standard features. These include safety essentials like seat belts and airbags, as well as advanced systems like automatic braking, global positioning system, and connectivity to online apps via vehicle infotainment systems and mobile phones. These technological leaps support a scenario where network users can receive immediate updates about accidents.

This paper first introduces measures to quantify the network's performance and the importance of a specific link. Then, a mathematical programming and a heuristic algorithm are proposed to improve network performance to withstand traffic accident impacts under users' full information. It introduces an objective function that measures *suitable trip-hours* after accident occurrences in the network. This measure is a more suitable and efficient objective for the network design problem than the total vehicle hours in the conventional network design problem or the total suitable trips in the previous studies. Moreover, the "suitability" of trips is a well-known concept in network reliability, and trip-hour is related to consumer surplus, which is a measure of consumer welfare (Poorzahedy and Bushehri, 2005).

In the *AIP*, the managers of an urban transportation network mainly try to prevent accident occurrence in the important links of the network under resource constraints. The new link importance measure introduced in this study is applicable to determining the importance of the link in providing *suitable* trips to the passengers within the link, the passengers in the network as a whole, and the passengers who are confronted by accidents in other links of the network. To show the mechanism of the suggested solution algorithm in solving the developed mathematical programming for *AIP*, as well as the properties of the measures used by the algorithm, *AIP* is solved for a small-scale example network and a medium-sized network, and the results are analyzed. Results showed how the importance of a link can be increased or decreased after an accident occurs in the network. Also, results showed how the impacts of newcomers on the routes of existing travelers within the network can affect the performance of the network when an accident occurs.

Future research in this area could explore several promising directions. To begin with, the approach presented in this study could be applied to real-world case studies. While the current study mainly assumes deterministic parameters and variables, actual urban transportation networks typically involve vast datasets with some elements in probabilistic, stochastic, or missing form. Therefore, a valuable avenue for future research would involve devising suitable models that account for these probabilistic or stochastic variables/parameters and handle missing data effectively. Furthermore, in this study, a heuristic algorithm was developed to address the proposed model problem. Future research efforts could focus on developing alternative heuristic and metaheuristic algorithms that are not only different but also more efficient in solving the model. Comparative studies between these various solution approaches could provide valuable insights into their relative merits and performance characteristics.

Peer Review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Conception/Design of Study- S.N.S.B., R.M.; Data Acquisition- S.N.S.B., R.M.; Data Analysis/ Interpretation- S.N.S.B., R.M.; Drafting Manuscript- S.N.S.B., H.P., R.M.; Critical Revision of Manuscript- S.N.S.B., H.P., R.M.; Final Approval and Accountability- S.N.S.B., H.P., R.M.

Conflict of Interest: Authors declared no conflict of interest.

Financial Disclosure: Authors declared no financial support.

ORCID IDs of the authors

Seyyed Nader Shetab Boushehri	0000-0003-0901-2895
Hossain Poorzahedy	0000-0002-1081-0221
Reza Mahmoudi	0000-0001-6344-941X

REFERENCES

- Adel , S., Tr fond-Alexandre, S., Dionisio, C., Hoyau, P.-A., 2019. Exploring the behavior of suburban train users in the event of disruptions. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 65, 344-362.
- Agrawal, A.K., Yadav, S., Gupta, A.A., Pandey, S., 2022. A genetic algorithm model for optimizing vehicle routing problems with perishable products under time-window and quality requirements. *Decision Analytics Journal* 5, 100139.
- Ahmed, N.U., 1983. An analytical decision model for resource allocation in highway maintenance management. *Transportation Research Part A: General* 17, 133-138.
- Chen, A., Yang, H., Lo, H.K., Tang, W.H., 2002. Capacity reliability of a road network: an assessment methodology and numerical results. *Transportation Research Part B: Methodological* 36, 225-252.
- Chen, A., Zhou, Z., Chootinan, P., Ryu, S., Yang, C., Wong, S., 2011. Transport network design problem under uncertainty: a review and new developments. *Transport Reviews* 31, 743-768.
- Dhahir, B., Hassan, Y., 2019. Probabilistic, safety-explicit design of horizontal curves on two-lane rural highways based on reliability analysis of naturalistic driving data. *Accident Analysis & Prevention* 123, 200-210.
- El-Maissi, A.M., Argyroudis, S.A., Nazri, F.M., 2020. Seismic vulnerability assessment methodologies for roadway assets and networks: A state-of-the-art review. *Sustainability* 13, 61.

- Ghavami, S.M., 2019. Multi-criteria spatial decision support system for identifying strategic roads in disaster situations. *International Journal of Critical Infrastructure Protection* 24, 23-36.
- Huang, Y., Sun, D.J., Zhang, L.-H., 2018. Effects of congestion on drivers' speed choice: assessing the mediating role of state aggressiveness based on taxi floating car data. *Accident Analysis & Prevention* 117, 318-327.
- Iliopoulou, C., Makridis, M.A., 2023. Critical multi-link disruption identification for public transport networks: A multi-objective optimization framework. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 626, 129100.
- Ji, X., Ban, X., Zhang, J., Ran, B., 2019. Moment-based travel time reliability assessment with Lasserre's relaxation. *Transportmetrica B: Transport Dynamics* 7, 401-422.
- Karatas, M., Yakıcı, E., 2021. A multi-objective location analytics model for temporary emergency service center location decisions in disasters. *Decision Analytics Journal* 1, 100004.
- Lam, W.H., 1999. Network reliability and transport modelling. *Journal of Advanced Transportation* 33, 121-123.
- Lin, J., Lin, W., 2022. Transportation system vulnerability assessment considering environmental impact. *Journal of advanced transportation* 2022.
- Ma, C., Alam, S., Cai, Q., Delahaye, D., 2022. Critical links detection in spatial-temporal airway networks using complex network theories. *IEEE Access* 10, 27925-27944.
- Mahmoudi, R., Shetab-Boushehri, S.-N., Emrouznejad, A., 2022. Sustainability in the evaluation of bus rapid transportation projects considering both managers and passengers perspectives: A triple-level efficiency evaluation approach. *International Journal of Sustainable Transportation* 16, 1059-1077.
- Mahmoudi, R., Shetab, N., Hejazi, R., Emrouznejad, A., 2019. Determining the relative importance of sustainability evaluation criteria of urban transportation network. *sustainable cities and society*.
- Mahmoudi, R.S., Nader, Hejazi, Reza; Emrouznejad, Ali; Rajabi, Parisa;, 2019. A hybrid egalitarian bargaining game-DEA and sustainable network design approach for evaluating, selecting and scheduling urban road construction projects. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 130, 161-183.
- Murray-Tuite, P.M., Mahmassani, H.S., 2004. Methodology for determining vulnerable links in a transportation network. *Transportation Research Record* 1882, 88-96.
- Poorzahedy, H., Bushehri, S.N.S., 2003. Project Selection in Traffic Accident Prevention and Mitigation. *EJTIR* 3, 241-261.
- Poorzahedy, H., Bushehri, S.N.S., 2005. Network performance improvement under stochastic events with long-term effects. *Transportation* 32, 65-85.
- Psaltoglou, A., Calle, E., 2018. Enhanced connectivity index – A new measure for identifying critical points in urban public transportation networks. *International Journal of Critical Infrastructure Protection* 21, 22-32.
- Qiao, W., Lu, Y., Xiong, C., Haghani, A., 2014. A game theory approach for the measurement of transport network vulnerability from the system prospective. *Transportmetrica B: transport dynamics* 2, 188-202.
- Sansó, B., Soumis, F., 1991. Communication and transportation network reliability using routing models. *IEEE Transactions on Reliability* 40, 29-38.
- Sharma, M.K., Chauhan, B.K., 2022. Analytical assessment of implementation aspect of regional rapid transit system. *Decision Analytics Journal* 4, 100093.
- Sheffi, Y., 1985. *Urban transportation networks*.
- Sohn, J., 2006. Evaluating the significance of highway network links under the flood damage: An accessibility approach. *Transportation research part A: policy and practice* 40, 491-506.
- Tian, Z., She, W., Li, S., Wang, Y.-W., Liu, W., Zai, G.-J., Jia, L.-M., Qin, Y., Dong, H.-H., 2019. Key links identification for urban road traffic network based on temporal-spatial distribution of traffic congestion. *Modern Physics Letters B* 33, 1950307.
- Vodák, R., Bíl, M., Svoboda, T., Křivánková, Z., Kubeček, J., Rebok, T., Hliněný, P., 2019. A deterministic approach for rapid identification of the critical links in networks. *PLoS one* 14.
- Vodák, R., Křivánková, Z., Bíl, M., 2022. Identification of road links with the gravest network impacts when blocked concurrently. *European Journal of Transport and Infrastructure Research* 22, 63-92.
- Yu, R., Wang, X., Yang, K., Abdel-Aty, M., 2016. Crash risk analysis for Shanghai urban expressways: a Bayesian semi-parametric modeling approach. *Accident Analysis & Prevention* 95, 495-502.
- Zhang, L., Xiong, C., 2017. A novel agent-based modelling framework for travel time reliability analysis. *Transportmetrica B: Transport Dynamics* 5, 78-95.
- Zhou, Y., Wang, J., 2017. Critical link analysis for urban transportation systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 19, 402-415.

How cite this article

Shetab Boushehri, S.N., Poorzahedy, & H., Mahmoudi, R. (2024). Enhancing network performance in mitigating the impact of traffic accidents with full user information. *Journal of Transportation and Logistics*, 9(1), 1-19. <https://doi.org/10.26650/JTL.2024.1365336>

Appendix

Lemma A.1. Based on assumption 3, travelers are uniformly distributed over each link of a path ρ .

Proof. It can be claimed that $x_{ij} = \sum_{(k,s) \in \rho} \sum_{\rho \in \rho^{ks}} x_{ij}^{ks} \cdot \delta_{ij,\rho}^{ks}$, where $\delta_{ij,\rho}^{ks} = 1$ if $(i,j) \in \rho \in \rho^{ks}$, and 0 otherwise. Since x_{ij}^{ks} is uniformly distributed over link (i,j) for all $\rho \in \rho^{ks}$ and all $(k,s) \in P$, such that $\sigma_{ij,\rho}^{k,s} = 1$. So, x_{ij} is, also, uniformly distributed, by flow additivity over link (i,j) .

Lemma A.2. The number of trip-makers on a link (i,j) of path ρ is proportional to the travel time of that link of the path: $m_{ij} = x_{ij} \cdot t_{ij}$. Furthermore, the number of trip-makers on a path ρ from k to s is proportional to the travel time of the path: $m_{\rho}^{ks} = x_{\rho}^{ks} \cdot t_{\rho}^{ks}$.

Proof. Assuming constant flow speed v_{ij} in link (i,j) with length (l_{ij}) and flow x_{ij} , based on Lemma A.1, link (i,j) has a uniform passenger (trip) density d_{ij} over its length. Using the speed-density-flow relationship, $x_{ij} = d_{ij} \cdot v_{ij}$, x_{ij} can be calculated by $x_{ij} = (m_{ij}/l_{ij}) \cdot (l_{ij}/t_{ij})$, where $m_{ij} = \sum_{(k,s) \in P} m_{ij}^{ks}$ is the number of passengers (trips) on link (i,j) , which are uniformly distributed over l_{ij} . This results $m_{ij} = x_{ij} \cdot t_{ij}$, which proves the first statement. Now, let $m_{ij}^{ks,\rho}$ be the number of passengers on link (i,j) on path ρ from k to s . Since the flow is additive, therefore $m_{ij}^{ks,\rho} = (x_{\rho}^{ks} \cdot t_{ij}) \cdot \delta_{ij,\rho}^{ks}$, where $\delta_{ij,\rho}^{ks} = 1$ if $(i,j) \in \rho \in \rho^{ks}$, and 0 otherwise. Hence, the number of passengers on path ρ from k to s may be computed as $m_{\rho}^{ks} = \sum_{(i,j) \in \rho} x_{\rho}^{ks} \cdot t_{ij} \cdot \delta_{ij,\rho}^{ks} = x_{\rho}^{ks} \sum_{(i,j) \in \rho} t_{ij} \cdot \delta_{ij,\rho}^{ks} = x_{\rho}^{ks} \cdot t_{\rho}^{ks}$, which proves the second statement.

Lemma A.3. can be determined as follows:

$$E_{ij}^s(c) \sum_{k \in O} [m_{ij}^{ks} t^{ks} - m_{ij}^{ks} (t^{ks}/2) \bar{Z}_{ij}(jks)(c)] Z^{jks}(c) \tag{A.1}$$

Proof. Consider link (i,j) in Figure A1, where an accident has occurred at point e on this link.

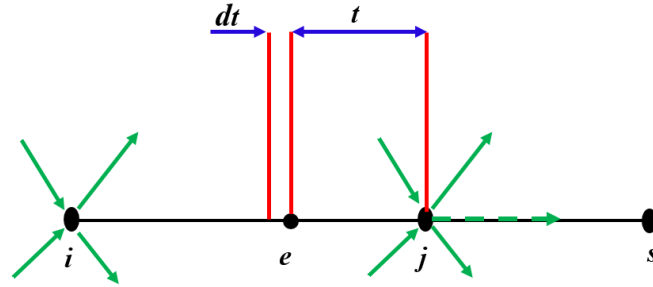


Figure 4. Accident occurrence in a link of network on the way to destination s

For a constant average speed in link (i,j) , according to Assumption 3, $\sum_{k \in O} (m_{ij}^{ks}/t_{ij}) dt$ number of travelers are traveling to destination s in a equivalent length of the link, forming $\sum_{k \in O} (m_{ij}^{ks}/t_{ij}) t^{ks} \cdot dt$ trip-hours (passenger-hours) of the network. By Assumption 1, for $\bar{Z}_{ij}(c)=1$, there is a probability of t/t_{ij} and $1 - t/t_{ij}$ for the accident to take place in e to j and i to e portions of link (i,j) , respectively, where $0 \leq t \leq t_{ij}$. Thus, the probability of non-occurrence of an accident on e to j portion of link (i,j) is $1 - (t/t_{ij}) \cdot \bar{Z}_{ij}(c)$, and the mean suitable trip-hours of the passengers in link (i,j) , in state c of the network when an accident happens at point e , is equal to:

$$\sum_{k \in O} (m_{ij}^{ks}/t_{ij}) t^{ks} \cdot dt \cdot \left[1 - (t/t_{ij}) \cdot \bar{Z}_{ij}(c) \right] \cdot Z^{jks}(c) \tag{A.2}$$

$E_{ij}^s(c)$ can be obtained by integrating over t to consider all possible locations:

$$E_{ij}^s(c) = \int_0^{t_{ij}} \sum_{k \in O} (m_{ij}^{ks} / t_{ij}) t^{ks} \left[1 - (t/t_{ij}) \cdot \bar{Z}_{ij}(c) \right] \cdot Z^{jks}(c) dt \quad (\text{A.3})$$

Lemma A4. To obtain PI the following equation can be used:

$$PI(c) = E(c)/E(c^\circ) = \sum_{j \in V} \sum_{s \in D} \sum_{k \in O} \left(\Phi^{jks} - \psi^{jks}(c) \right) \cdot Z^{jks}(c) \quad (\text{A.4})$$

where:

$$\Phi^{jks} = \sum_{\rho \in \rho^{ks}} \sum_{(i,j) \in B(j)} x_\rho^{ks} \cdot t_{ij} \cdot \delta_{ij,\rho}^{ks} \cdot t^{ks} / \sum_{(k,s) \in P} d^{ks} \cdot (t^{ks})^2 \quad (\text{A.5})$$

$$\psi^{jks}(c) = \sum_{\rho \in \rho^{ks}} \sum_{(i,j) \in B(j)} x_\rho^{ks} \cdot t_{ij} \cdot \delta_{ij,\rho}^{ks} \cdot (t^{ks}/2) \bar{Z}_{ij}(c) / \sum_{(k,s) \in P} d^{ks} \cdot (t^{ks})^2 \quad (\text{A.6})$$

Proof. Based on Lemma A2, $m_{rho}^{ks} = x_\rho^{ks} t_\rho^{ks}$ is the number of passengers on path ρ from k to s , at any point in time, and this quantity for link (i,j) due to path ρ from k to s is $m_{ij,rho}^{ks} = x_\rho^{ks} \cdot t_{ij} \cdot \delta_{ij,\rho}^{ks}$. Then, the number of passengers on link (i,j) who are destined to s can be calculated as $m_{ij}^{ks} = \sum_{k \in O} \sum_{\rho \in \rho^{ks}} x_\rho^{ks} \cdot t_{ij} \cdot \delta_{ij,\rho}^{ks}$. According to Lemma A3 and substituting $m_{ij}^{ks} \sum_{\rho \in \rho^{ks}} x_\rho^{ks} \cdot t_{ij} \cdot \delta_{ij,\rho}^{ks}$, the mean suitable trip-hours of the users in link (i,j) in state c , can be computed as follows,

$$E_{ij}^s(c) = \sum_{k \in O} \sum_{\rho \in \rho^{ks}} \left\{ \left(x_\rho^{ks} \cdot t_{ij} \cdot \delta_{ij,\rho}^{ks} \cdot t^{ks} \right) Z^{jks}(c) \left(x_\rho^{ks} \cdot t_{ij} \cdot \delta_{ij,\rho}^{ks} \right) \left(t^{ks}/2 \right) \bar{Z}_{ij}(c) Z^{jks}(c) \right\} \quad (\text{A.7})$$

Then, the mean suitable trip-hours to destination s that meet j as the first node on their paths after state c occurrence, $E^{js}(c)$, can be calculated as:

$$E^{js}(c) = \sum_{(i,j) \in B(j)} E_{ij}^s(c) \quad (\text{A.8})$$

For the whole network, therefore, we have:

$$E(c) = \sum_{j \in V} \sum_{s \in D} E^{js}(c) \quad (\text{A.9})$$

When the state of the network is c° and x is the user equilibrium flow, t^{ks} is the minimum travel time, $\forall (k, s) \in P$. By Kuhn-Tucker optimality conditions for user equilibrium (Sheffi, 1985), all used paths for a given O-D pair have equal travel times, and this time is less than the time for an unused path. According to Lemma A2, $m_\rho^{ks} = x_\rho^{ks} \cdot t_\rho^{ks}$ is the number of passengers on the path ρ from k to s . Each passenger spends t^{ks} units of time to reach s from k . This trip time is a *suitable* trip time. Hence, based on the above statements, the suitable trip-hours for the passenger traveling in path ρ from k to s in state c° , $E_\rho^{ks}(c^\circ)$, is:

$$E_\rho^{ks}(c^\circ) = x_\rho^{ks} \cdot t_\rho^{ks} \cdot t^{ks} = x_\rho^{ks} (t^{ks})^2 \quad (\text{A.10})$$

The value of this measure for a specific O-D pair, , can be determined as:

$$E^{ks}(c^\circ) = \sum_{\rho \in \rho^{ks}} x_\rho^{ks} (t^{ks})^2 = (t^{ks})^2 \sum_{\rho \in \rho^{ks}} x_\rho^{ks} = d^{ks} \cdot (t^{ks})^2 \quad (\text{A.11})$$

and for the whole network:

$$E(c^\circ) = \sum_{(k,s) \in P} D^{ks} \cdot (t^{ks})^2 \quad (\text{A.12})$$

Eqs. (A.9) and (A.12) results:

$$PI(c) = E(c)/E(c^\circ) = \sum_{j \in V} \sum_{S \in D} E^{js}(c) / \sum_{(k,s) \in P} D^{ks} \cdot (t^{ks})^2 \quad (\text{A.13})$$

Substituting eq. (A.7) in eq. (A.8), and substituting the results in eq. (13), would complete the proof. \square

Lemma A5. The following expression is an approximate measure of link importance measure:

$$I_{mn} \approx (p(c^\circ)/P_{mn}) \left\{ [1 - PI(c_{mn}^\circ)] + \sum_{(u,v) \in A} [(1 - P_{uv})/P_{uv}] [PI(c_{uv}^\circ) - PI(c_{uv,-mn}^\circ)] \right\} \quad (\text{A.14})$$

Proof. First, it should be noted that:

$$EPM = E[PI] = E[PI(m,n) \text{ survives}] \cdot p_{mn} + E[PI(m,n) \text{ fails}] \cdot (1 - P_{mn}) \quad (\text{A.15})$$

Taking derivative of both sides of eq. (A.15) with respect to p_{mn} would result:

$$\partial(EPM)/\partial(p_{mn}) = E[PI(m,n) \text{ survives}] - E[PI(m,n) \text{ fails}] \quad (\text{A.16})$$

If the probability of a link failure during a period of time, such as rush hour, is low, based on Assumption 2, the probability of concurrent traffic accidents in two or more links becomes very low. Thus, as an approximate computation of I_{mn} for a link (m,n) , the state of the network in which more than one link is subject to failure simultaneously is ignored.

$p(c^\circ)$, $E[PI(m,n) \text{ survives}]$ and $E[PI(m,n) \text{ fails}]$ can be obtained as follows:

$$p(c^\circ) = \prod_{(i,j) \in A} P_{ij} \quad (\text{A.17})$$

$$\begin{aligned} E[PI(m,n) \text{ survives}] &= \frac{p(c^\circ)}{p_{mn}} \cdot PI(c^\circ) \\ &+ \sum_{\substack{(u,v) \in A \\ (u,v) \neq (m,n)}} \frac{p(c^\circ)(1 - p_{uv})}{P_{mn}P_{uv}} \cdot PI(c^\circ)_{-uv} + \sum_{\substack{(u,v), (g,r) \in A \\ (u,v) \neq (m,n) \\ (g,r) \neq (m,n) \\ (u,v) \neq (g,r)}} \frac{p(c^\circ)(1 - P_{uv})(1 - P_{gr})}{P_{mn}P_{uv}P_{gr}} \cdot PI(c^\circ)_{-uv,-gr} + \dots \quad (\text{A.18}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E[PI(m,n) \text{ fails}] &= \frac{P(c^\circ)}{P_{mn}} \cdot PI(c_{mn}^\circ) \\ &+ \sum_{\substack{(u,v) \in A \\ (u,v) \neq (m,n)}} \frac{P(c^\circ)(1 - P_{uv})}{P_{mn}P_{uv}} \cdot PI(c^\circ)_{-mn,-uv} + \sum_{\substack{(u,v), (g,r) \in A \\ (u,v) \neq (m,n) \\ (g,r) \neq (m,n) \\ (u,v) \neq (g,r)}} \frac{P(c^\circ)(1 - P_{uv})(1 - P_{gr})}{P_{mn}P_{uv}P_{gr}} \cdot PI(c^\circ)_{-mn,-uv,-gr} + \dots \quad (\text{A.19}) \end{aligned}$$

Substituting eqs. (A.18) and (A.19) in eq. (A.16), noting that , results:

$$\begin{aligned}
 E[PI] = & \frac{p(c^\circ)}{p_{mn}} \cdot [1 - PI(c_{mn}^\circ)] + \sum_{\substack{(u,v) \in A \\ (u,v) \neq (m,n)}} \frac{p(c^\circ)(1 - p_{uv})}{p_{mn}p_{uv}} \cdot [PI(c_{uv}^\circ) - PI(c_{-mn,-uv}^\circ)] \\
 & + \sum_{\substack{(u,v), (g,r) \in A \\ (u,v) \neq (m,n) \\ (g,r) \neq (m,n) \\ (u,v) \neq (g,r)}} \frac{p(c^\circ)(1 - p_{uv})(1 - p_{gr})}{p_{mn}p_{uv}p_{gr}} \cdot [PI(c_{-uv,-gr}^\circ) - PI(c_{-mn,-uv,-gr}^\circ)] + \dots \tag{A.20}
 \end{aligned}$$

The probability of an accident occurrence in a link is low, therefore the probability of the concurrent occurrences of accidents in two links(

$$\sum_{\substack{(u,v), (g,r) \in A \\ (u,v) \neq (g,r)}} \frac{p(c^\circ)(1 - p_{uv})(1 - p_{gr})}{p_{uv}p_{gr}} \times [PI(c_{-uv,-gr}^\circ) - PI(c_{-mn,uv,-gr}^\circ)]$$

)becomes negligible. It should be noted that $[PI(c_{-uv,-gr}^\circ) - PI(c_{-mn,uv,-gr}^\circ)]$ is a very small value, especially in large scale real networks. Therefore, by a similar reasoning, it can be claimed that the third term and the higher-order terms, in eq. (A.20) are negligible. □

Trafik Kaza Süresinin Tahmini İçin Topluluk Ağacı ve Sinir Ağları Performansının Karşılaştırılması

A Comparison of the Performance of Ensemble Tree and Neural Networks for The Prediction of Traffic Accident Duration

Hüseyin Korkmaz¹ , Mehmet Ali Ertürk² , Mehmet Adak³ 

¹(Res. Assist.), İstanbul University, Faculty of Transportation and Logistics, İstanbul, Türkiye

²(Assist. Prof), İstanbul University, Faculty of Computer and Information Technologies, İstanbul, Türkiye

³(Prof. Dr.), İstanbul University, Faculty of Transportation and Logistics, İstanbul, Türkiye

ÖZ
Trafik kaza süresi, bir kazanın meydana gelmesi ile kaza yerinin başlangıç durumuna dönmesi arasındaki zaman farkı olarak ifade edilmektedir. Bu araştırmanın birincil amacı İstanbul'daki trafik kaza verilerine dayalı olarak trafik kaza süresini Topluluk Ağacı ve Sinir Ağları yöntemleri ile tahmin etmek ve bu yöntemlerin performanslarını karşılaştırmaktır. Araştırmanın ikincil amacı ise trafik kaza süresini etkileyen temel faktörleri belirlemektir. Bu çalışmada İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve Emniyet Genel Müdürlüğü kurumlarından elde edilen İstanbul'a ait kaza bilgisi veri setleri kullanılmıştır. Veri seti, 2013-2021 yılları arasındaki İstanbul'da gerçekleşen 1.905 trafik kaza kaydını içermektedir. Veriler, veri madenciliği kapsamında incelenmiştir. Ayıklanan veri setine istatistik testleri ve makine öğrenmesi algoritmalarından Topluluk Ağacı ve Sinir Ağları uygulanarak trafik kaza süresi tahmini gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada uygulanan algoritmaların performans ölçümleri için R^2 , MSE, RMSE ve MAE metrikleri kullanılmıştır. Topluluk Ağacı algoritmasının eğitimde R-Kare: 0.85 ile başarılı bir performans elde ettiği, testte ise R-Kare: 0.91 ile Sinir Ağları algoritmasının daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

ABSTRACT

Traffic accident duration is defined as the time difference between the occurrence and the return of the accident scene's initial state. The aim of this paper is to predict the traffic accident duration based on traffic accident data in İstanbul with Ensemble Tree and Neural Networks methods and to compare the performance of these methods. The secondary aim of the paper is to identify the main factors affecting the accident duration. The accident data sets obtained from İstanbul Metropolitan Municipality and General Directorate of Security are used in this paper. The dataset includes 1.905 traffic accident records in İstanbul from 2013 to 2021. The data were analyzed within the scope of data mining. Statistical tests and machine learning algorithms were applied to the extracted data set and prediction of traffic accident duration was performed. R^2 , MSE, RMSE and MAE metrics were used for the performance measures of the algorithms applied in this paper. It was found that the Ensemble Tree algorithm achieved an R-Square of 0.85 in training, while the Neural Networks algorithm performed better with 0.91 in testing.

Anahtar Kelimeler: Kaza Süresi, Akıllı Ulaşım Sistemleri, Makine Öğrenmesi, Sinir Ağları, Topluluk Ağacı

Keywords: Accident Duration, Intelligent Transportation Systems, Machine Learning, Neural Networks, Ensemble Tree

EXTENDED ABSTRACT

This paper aims to predict the traffic accident duration based on traffic accident data in İstanbul with Ensemble Tree and Neural Networks methods and to compare the performance of these methods. The secondary aim of the paper is to identify the main factors affecting the accident duration. Traffic accident duration is defined as the time difference between the occurrence and the return of the accident scene's initial state. When a traffic incident or accident occurs, the uncertainty of the duration causes concern for drivers, passengers, and traffic operators. Therefore, the duration between the occurrence of a traffic accident and its clearance is a topic worthy of research.

Firstly, a literature review was conducted in this paper. The literature review focuses on recent and up-to-date academic studies published from 2010 until the end of 2022. This literature review has gathered research papers from well-established databases that offer valuable information to researchers and practitioners on analyzing and predicting the duration of traffic accidents. The

Corresponding Author: Hüseyin Korkmaz E-mail: huseyinkorkmaz@istanbul.edu.tr

Submitted: 27.02.2024 • Revision Requested: 25.03.2024 • Last Revision Received: 31.03.2024 • Accepted: 09.04.2024



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

objective of this literature review is to uncover the dynamics of traffic incidents and the important factors affecting accident duration in various categories to improve traffic management. Thus, some guidance or recommendations for traffic accident management can be provided and countermeasures can be generated.

The accident data sets obtained from the Istanbul Metropolitan Municipality (IBB) and the General Directorate of Security (EGM) are used in this paper. One of the datasets used for the modelling in this paper is the dataset titled "Transportation Management Center Traffic Announcement Data" for the city of Istanbul published by the IBB Department of Transportation through the IBB Open Data Portal and is open access (İBB UDB, 2023). The IBB traffic announcement dataset covers the years 2013-2021. The dataset contains 159.411 traffic incident records and 13 different variables. The other dataset was obtained from the traffic accidents database provided by the statistics unit of the EGM Traffic Directorate. The EGM traffic accidents dataset covers the years 2013-2021 and all cities in Türkiye. The EGM data set was obtained in the form of two Excel documents "accident information" and "accident vehicle information". The "accident information" data set contains 1.338.387 traffic accident records and 53 different variables, while the "accident vehicle information" data set contains 2.206.474 traffic accident records and 11 different variables. The final dataset includes 1.905 traffic accident records in Istanbul from 2013 to 2021. The data were analyzed within the scope of data mining.

Researchers have frequently used machine learning models to predict the duration of traffic accidents, especially in the last decade. Machine learning is a sub-branch of artificial intelligence and has been widely used as a powerful tool to overcome challenges in different domains. Statistical tests and machine learning algorithms Ensemble Tree and Neural Networks methods were applied to the extracted data set and prediction of traffic accident duration was performed.

R^2 , MSE, RMSE, and MAE metrics were used for the performance measures of the algorithms applied in this paper. In addition, the final data set used in this paper is divided into 80% training and 20% testing set. Moreover, for performance optimization of regression-based machine learning algorithms, different analyses including the K-Fold Cross Validation Method, Principal Component Analysis, Feature Selection and Optimizer were applied. As a result, it was found that the Ensemble Tree algorithm achieved an R-Square of 0.85 in training, while the Neural Networks algorithm performed better with 0.91 in testing.

1. Giriş

Dünyada artan ulaşım talebi ve trafik yoğunluğu; trafik sıkışıklığı, kazalar, gecikmeler, emisyonlar, ekonomik kayıplar ve hava kirliliği gibi ciddi sorunlara neden olmaktadır. Referans (IEA, 2020), 2019 yılında küresel emisyonların %27'sinin ulaşım ve buna bağlı hava kirliliğinden kaynaklandığını ortaya koymuştur. Ayrıca, Birleşik Krallık'ta trafik sıkışıklığının yıllık maliyetinin 2030 yılına kadar 21 milyar sterlin olacağı vurgulanmaktadır (Alonze, 2014). Benzer şekilde, trafik sıkışıklığı Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ekonomisine 2019 yılında yaklaşık 190 milyar dolara mal olmuştur (Fleming, 2019; Schrank, Eisele ve Lomax, 2019). Trafik sıkışıklığı gecikmelere, daha düşük trafik akış hızlarına, daha yüksek yakıt tüketimine ve olumsuz çevresel ve ekonomik etkilere yol açmaktadır. Texas Ulaştırma Enstitüsü raporuna göre, ABD ekonomisinde toplam 8.7 milyar saat seyahat gecikmesi, 3.5 milyar galon boşa harcanan yakıt, 36 milyon ton fazla sera gazı emisyonu, 20 milyar dolar kamyon trafiği sıkışıklık maliyeti, 1600 milyar mil seyahat hacmi gerçekleşmiştir (Schrank ve diğerleri, 2019). Veriler, trafik sıkışıklığı sorununun ve ilgili konuların çözülmesinin ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Tekrar etmeyen trafik sıkışıklığı (non-recurrent congestion), başlıca trafik kazaları, büyük siyasi toplantılar, spor etkinlikleri, yol çalışmaları veya beklenmedik aşırı hava kazaları nedeniyle meydana gelen başlıca trafik sıkışıklığı türlerinden biridir. ABD otoyollarındaki tekrar etmeyen trafik sıkışıklığının %55'inden fazlasının trafik kazalarından kaynaklandığı belirtilmektedir (Chin, Franzese, Greene, Hwang ve Gibson, 2004; Skabardonis, Varaiya ve Petty, 2003). Referans (Snelder, Bakri ve van Arem, 2013), tekrar etmeyen trafik sıkışıklığının karayolu trafik sıkışıklığının yaklaşık dörtte birini oluşturduğunu vurgulamaktadır. Öngörülemeyen doğası nedeniyle tekrar etmeyen trafik sıkışıklığını tahmin etmek zor olsa da trafik koşulları üzerindeki etkisini en aza indirmek için hızlı ve verimli bir şekilde ele alınması kritik önem taşımaktadır. Ayrıca, (Adler, Ommeren ve Rietveld, 2013) trafik sıkışıklığının 1 dakika azaltılabilmesi halinde kaza/olay (accident/incident) başına 57€ (yoğun sıkışık bölgelerde yaklaşık 1200€) kazanç sağlandığını göstermiştir. Referans (Garrison ve Mannering, 1990) ayrıca aşırı sıkışık yerlerde kaza süresinin her dakikası için 2.000\$ kaybedildiğini vurgulamıştır. Bu nedenle, trafik sıkışıklığının etkisinin ve kaza ya da olay sonrası etkilerin doğru bir şekilde tahmin edilmesi, trafik katılımcılarını daha iyi yönlendirmek, entegre ulaşım sistemlerini daha verimli bir şekilde işletmek ve bu mobilite zorluğunun üstesinden gelmek için çok önemlidir.

Sahadan elde edilen gerçek zamanlı verilerin daha fazla erişilebilir olması, trafik tahmini için Veri Madenciliği (DM) tekniklerinin geliştirilmesini ve kullanılmasını sağlamıştır. 1980'lerin başından itibaren, tek değişkenli zaman serisi modelleri, özellikle Box-Jenkins Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) (Van Der Voort, Dougherty ve Watson, 1996) ve Holt-Winters Üstel Yumuşatma (Exponential Smoothing) (Marshment, Dauffenbach ve Penn, 1996; Williams, Durvasula ve Brown, 1998) modelleri trafik tahmininde yaygın olarak kullanılmıştır. 2000'li yılların başından bu yana, özellikle Sinir Ağı (NN) modelleri hız (Ishak ve Alecsandru, 2004; Xiao, Sun, Ran ve Oh, 2003), seyahat süresi (van Lint, Hoogendoorn ve van Zuylen, 2002) ve trafik akışı (Park, Messer ve Urbanik, 1998; Stephanedes, Michalopoulos ve Plum, 1981) gibi çeşitli trafik parametrelerinin tahmininde yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde ARIMA, üstel yumuşatma ve NN modelleri kısa vadeli trafik tahmini için kıyaslama yöntemleri

olarak kullanılmaktadır. Ancak, bu yaklaşımların en büyük eksikliği, trafik akışını basit zaman serisi verileri olarak görmeleri ve trafik kazalarını atlamalarıdır. Ancak, daha sonra yayımlanan çalışmalarda atlanan ve dikkate alınmayan kaza ve olay verileri zamanla araştırma modellerine dahil edilmeye başlanmıştır.

Literatürde istatistiksel yöntemler, DM teknikleri ve Makine Öğrenmesi (ML) teknikleri gibi farklı trafik analiz ve tahmin yaklaşımlarının yanı sıra simülasyon modelleri, trafik olay analizi ve trafik kaza sonrası etki tahmin modelleri de bulunmaktadır. Geliştirilen bu teknikler gözlem, inceleme, ölçüm, kümeleme, sınıflandırma veya simülasyon modellerine dayanmaktadır. Başlarda, trafik olayının süresini analiz etmek ve tahmin etmek için geleneksel olarak çeşitli istatistiksel yöntemler uygulanmıştır. Bu yöntemler arasında doğrusal/parametrik olmayan regresyon (Khattak, Schofer ve Wang, 1995), Bayes sınıflandırıcı (Boyles, Fajardo ve Waller, 2007), Tehlike Tabanlı Süre Modeli (HBDM) (Nam ve Mannering, 2000), Kesikli Seçim Modeli (DCM) (Lin, Zou ve Chang, 2004), Yapısal Eşitlik Modeli (Lee, Chung ve Son, 2009) ve olasılıksal dağılım analizleri (Giuliano, 1989) bulunmaktadır. Son zamanlarda trafik kaza süresinin tahmini için veri temelli deneysel algoritmalara dayanan ve benzersiz veri kullanılabilirliği ile desteklenen yeni bir araştırma alanı ortaya çıkmıştır. Trafik olayı süresini tahmin etmek ve öngörmek için farklı DM-ML yaklaşımları kullanılmıştır. Bu yaklaşımlar arasında Karar Ağacı (DT) ve Sınıflandırma Ağaç Yöntemi (CTM) (Zhan, Gan ve Hadi, 2011), Yapay Sinir Ağları (ANN) (Vlahogianni ve Karlaftis, 2013), Genetik Algoritma (GA) (Ying Lee ve Wei, 2010) ve Destek Vektör Makinesi/İlgililik Vektör Makinesi (SVM/RVM) (Valenti, Lelli ve Cucina, 2010) yer almaktadır. Birçok araştırmacı, trafik kaza süresini tahmin etmek ve önceki yöntemlerin avantajlarından yararlanmak için son zamanlarda özellikle hibrit yöntemler (Kim ve Chang, 2012) kullanmaya başlamıştır. Bu doğrultuda, bu araştırma İstanbul'daki trafik kaza verilerine dayalı olarak trafik kaza süresini Topluluk Ağacı (ET) ve Sinir Ağları yöntemlerini kullanarak tahmin etme ve bu yöntemlerin performanslarını karşılaştırma amacını taşımaktadır.

Bu araştırmanın geri kalanı aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir: Bölüm 2'de trafik kaza süresi tahmini ve ML ile ilgili literatür çalışmaları açıklanmaktadır. Bölüm 3'te çalışmanın metodolojisi, veri ve modelleme özetlenmektedir. Bulgular ve model tahmin sonuçları sonraki bölümlerde açıklanmaktadır. Son olarak, tartışma ve sonuç sunulmaktadır.

2. Literatür Araştırması

Literatür araştırması, 2010 yılından 2022 yılının sonuna kadar yayımlanan son ve güncel akademik çalışmalara odaklanmaktadır. Bu literatür araştırması, trafik kazalarının süresini analiz etme ve tahmin etme konusunda araştırmacılara ve uygulayıcılara değerli bilgiler sunan köklü veri tabanlarından araştırma makalelerini bir araya getirmiştir. Bu literatür araştırmasının hedefi, trafik yönetimini geliştirmek için trafik olaylarının dinamiklerini ve çeşitli kategorilerdeki kaza süresini etkileyen önemli faktörleri ortaya çıkarmaktır. Böylece, trafik kazalarının yönetimi için bir rehberlik veya birtakım tavsiyeler sağlanabilir ve karşı önlemler üretilebilir.

Heterojenlik ve gözlemlenemeyen faktörler nedeniyle trafik kaza süresinin tahmin edilmesine yönelik modellemenin karmaşık bir konu olduğu düşünülmektedir. Son on yılda çok sayıda araştırma, çeşitli veri kümelerini kullanarak trafik kaza süresini tahmin etmek için uygun yöntem ve prosedürleri araştırmıştır. Bu literatür çalışmasında, trafik kaza süresinin tahmininde ML algoritmaları kullanılan önceki araştırmalar aşağıdaki bölümde sunulmaktadır.

Bir trafik olayı ya da kazası meydana geldiğinde sürenin belirsizliği sürücüler, yolcular ve trafik operatörleri için endişe yaratmaktadır. Bu nedenle, bir trafik kazasının meydana gelmesi ile ortadan kalkması arasında geçecek sürenin uzunluğu araştırmaya değer bir konudur. Araştırmacılar, özellikle son on yılda, trafik kazası süresinin tahmininde ML modellerini sıklıkla kullanmışlardır. ML, yapay zekânın bir alt dalını oluşturmada ve farklı alanlardaki zorlukların üstesinden gelmek için güçlü bir araç olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Önceki çalışmalarda kullanılan ML, ANN (Li, Wu ve Peng, 2021; Lin ve Li, 2020), Bayes Ağı (BN) (Cong ve diğerleri, 2018; Kuang, Yan, Zhu, Tu ve Fan, 2019), SVM (Yu, Wang, Yao ve Wang, 2016; Zong, Zhang, Xu, Zhu ve Wang, 2013), Rastgele Orman (RF) (Bai, Ji, Dai, Pu ve Qin, 2022; Hamad, Al-Ruzouq, Zeiada, Abu Dabous ve Khalil, 2020), K-En Yakın Komşular (k-NN) (Ji ve diğerleri, 2022; Wang, Li ve Guo, 2018), RVM (Pereira, Rodrigues ve Ben-Akiva, 2013; Valenti ve diğerleri, 2010), ET (Chen ve Tao, 2022; Zhao ve diğerleri, 2022), DT (Ma, Ding, Luan, Wang ve Wang, 2017; Saracoglu ve Ozen, 2020), Derin Öğrenme (DL) (Shang, Xie ve Yu, 2022; Zhu ve diğerleri, 2021), Bulanık Sistem (Fuzzy System) sınıflandırması (Dimitriou ve Vlahogianni, 2015) ve bunların çoklu ve birleşik (multiple and combined) (Hamad, Khalil ve Alozi, 2020; Lee, Kwak, Oh ve Kim, 2022) kullanımlarını kapsamaktadır. Tablo 1, önceki çalışmalarda yer alan ML modellerinin bir listesini, tanımlarını ve temel bileşenlerini özetleyerek sunmaktadır.

ANN ve BN, literatürde en yaygın kullanılan ML algoritmalarıdır. ANN'ler insan beyninin karmaşık yapısından esinlenerek basitleştirilmiş elektronik gösterimlerdir (Hassoun, 1995). ANN modelinin kullanıldığı çalışmalarda mutlak ortalama hata değerleri ortalama %3-30 arasında değişmektedir (Chi-Sen Li ve Chen, 2014; Li, Sheng, Du, Wang ve Ran, 2020; Lin ve Li, 2020). Bu da ANN modellerinin trafik kaza süresi için tahmin gücünün yüksek olduğunu göstermektedir. Bu çalışmalarda kullanılan veri boyutu, veri kalitesi ve diğer faktörlerin ANN modellerinin trafik kaza süresi için yüksek tahmin gücünü etkileyebileceği de unutulmamalıdır. Diğer taraftan BN, Bayes olasılığı ve çizge teorilerini birleştiren ve tümevarımsal bilgi keşfi yaklaşımını kullanan bir tekniktir (Pearl, 1988). BN, yapay zekâ ve ML gibi ilgili sahalarda geniş uygulama alanı bulmuştur. BN modelini kullanan önceki çalışmalarda, mutlak ortalama hata değerlerinin yaklaşık %67'ye kadar çıktığı gözlemlenmiştir (Cong ve diğerleri, 2018;

Ghosh ve Dauwels, 2022). İlgili faktörlerin etkisi göz ardı edilirse, BN modellerinin trafik kazası süresi için tahmin gücünün yüksek olmadığı söylenebilir.

İncelenen makalelerde kullanılan diğer ML algoritması ET, performansı ve sağlamlığı artırmak için birden fazla modelden gelen tahminleri birleştirir (Breiman, 1996; Schapire, 1990). RF, genellemeyi iyileştirirken istikrarsızlığı önleyerek aşırı uyumu ele almak için çeşitli DT'lerden oluşan bir orman oluşturur (Tin Kam Ho, 1995). Özetle, bu teknikler çok çeşitli ML ve yapay zekâ araçlarını temsil etmektedir. Uygulayıcılar, birden fazla modelin tahminlerini birleştirerek (ET), karara dayalı yapılar kullanarak (DT, RF) çok çeşitli zorlukların üstesinden gelebilir ve sağlam çözümler geliştirebilirler.

Tablo 1. Makine öğrenmesi çalışmaları.

Yöntem Kategorisi	Referans	Yöntem	Veri özellikleri	Veri türü	Çalışma yeri	Performans ölçütleri	Süre zaman aşaması
Çoklu ML	(Ghosh, Asif, Dauwels, Fastenrath ve Guo, 2019)	Sınıflandırma ve regresyon ağacı (CART), Çok katmanlı algılayıcı (MLP), Tree bagger, Destek vektör regresyonu (SVR), Uyarlanabilir bulanık NN, Gauss karışım regresyonu (GMR)	11.278 olay Ağustos 2016 - Ocak 2017 tarihleri arasında	5 dk.	Singapur	MAPE: 20–50%, Tahmin hatası: 55.84%	Olay süresi
	(Grigorev, Mihaita, Lee ve Chen, 2022)	Çift seviyeli ML çerçevesi aykırı değer giderme ve intra–extra ortak optimizasyon algoritması (IEO-ML)	574 kaza 2017 yılı boyunca	-	Avustralya, Sydney ve ABD, Kaliforniya/San Francisco	En iyi MAPE: 9.34%, Kesinlik, Duyarlılık, Doğruluk, F1-score	Olay süresi
	(Hamad, Khalil, ve diğerleri, 2020)	Regresyon karar ağacı, SVM, ET (Bagged ve Boosted), Gauss proses regresyonu, ANN	119.670 olay 1 Ocak 2004 - 31 Aralık 2013 tarihleri arasında	-	ABD, Texas/Houston	MAE, RMSE, Ortalama eğitim süresi	Olay süresi
	(Hamad, Obaid, Haridy, Zeiada ve Al-Khateeb, 2022)	Faktöriyel deney tasarımı, İleri sıralı özellik seçimi ve çoklu ML teknikleri (Doğrusal regresyon, DT, SVM, ET, GMR ve ANN)	90.000 üzerinde ve birçok yılı kapsayan kısa süreli olay kayıtları	-	ABD, Texas/Houston	RMSE: 12.7 dk., MAE: 10.1 dk.	Olay süresi
	(Lee ve diğerleri, 2022)	LIME (Doğrusal regresyon, En küçük mutlak küçültme ve seçim operatörü (LASSO), Ridge regresyon, SVR ile Radyal taban fonksiyonu (RBF), DT, RF, XGBoost, CatBoost, Işık gradyanı artırma makinesi (LGBM) ve MLP)	1.425 olay 2 Eylül - 1 Aralık 2020 tarihleri arasında	5 ve 30 dk.	Güney Kore, Seoul	En iyi MAPE: 80.8%	Olay süresi
	(Pereira ve diğerleri, 2013)	Doğrusal regresyon, SVR/RVM, ANN, DT, RBF ve Gizil Dirichlet ataması (LDA) olarak bilinen konu modelleme tekniği	10.139 kaza Ocak 2010 - Aralık 2011 tarihleri arasında	20 dk.	Singapur	MAPE: aralık 40-100%, MAE: 15.5 dk., ME: 9.9 dk. (28%)	Olay süresi
	(Valenti ve diğerleri, 2010)	Çoklu doğrusal regresyon, DT, ANN, SVM/RVM, k-NN	237 olay 2005 yılına ait üç ayda (Ocak, Nisan, Ağustos)	5 ve 10 dk.	İtalya	En iyi MAPE: 34%, En iyi MAE: 13,65 dk., En iyi RMSE: 17.29 dk.	Olay süresi
	(Won, Kim ve Chang, 2018)	Hibrit Birliktelik kuralı madenciliği (ARM)	6.463 olay 2012 - 2016 yılları arasında	30, 60, ve 120 dk.	ABD, Maryland	Doğruluk: 85%	Temizleme süresi
	(Mohammed, Abdullah ve Al Hussaini, 2021)	SVM, RF ve ANN	352 olay Ocak 2015 - Ocak 2017 tarihleri arasında	5 dk.	ABD, Missouri	SVM için en iyi MAE: 14.23 dk., RF için en iyi RMSE: 18.91 dk., MSE	Olay süresi
	(Sheikh ve Regan, 2022)	Bağımsız bileşen analizi, Hibrit gözlemci- Genelleştirilmiş olabilirlik oranı, Hız tabanlı hücre iletim modeli (CTM-v), Parçalı anahtarlamalı doğrusal model (PWSL), Geri Yayılımlı sinir ağı (BPNN), SVM ve k-NN	25 olay ve 50.656 toplam örneklem 16 Şubat - 19 Mart 1993 ve 27 Temmuz - 29 Ekim 1993 tarihleri arasında	3, 12, ve 30 dk.	ABD, Kaliforniya/San Francisco Bay Area	DR, FAR, Sınıflandırma oranı, MTTD, AUC ve ROC	Olay süresi

Tablo 1. Devamı.

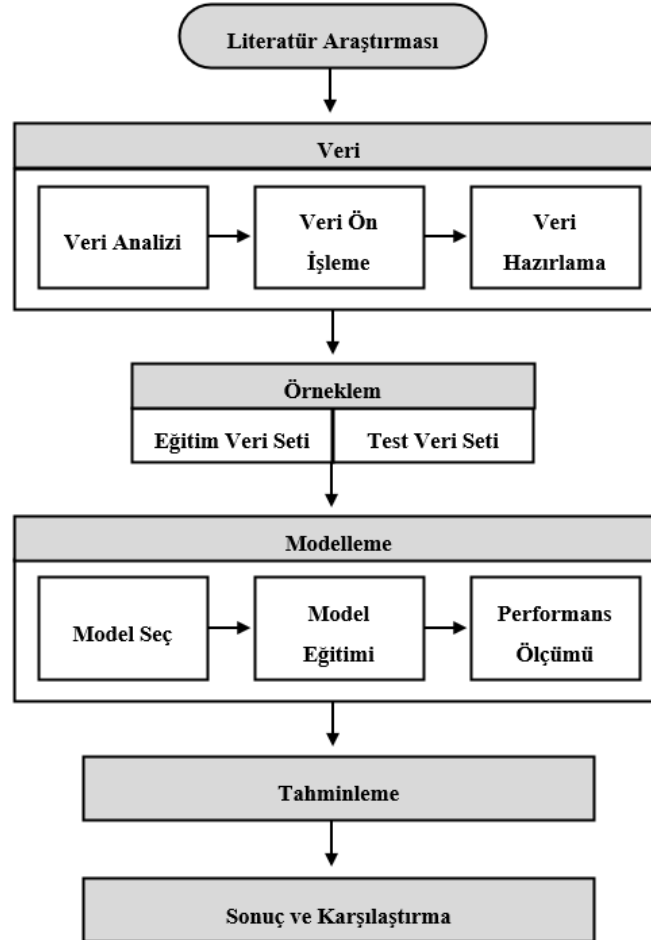
NN	(Ying Lee ve Wei, 2010)	ANN modelleri ve GA	39 kaza 2004 – 2005 yılları arasında	5 dk.	Tayvan	En iyi MAPE: 8.93%, En iyi MAE: 416.6 sn., En iyi R ² : 0.944	Kaza süresi
	(Lee, Wei ve Chao, 2017)	ANN ve k-NN	46 olay 2012 yılı boyunca	5 dk.	Tayvan	En iyi MAPE: 25.4%	Temizleme ve müdahale süresi
	(Li ve Chen, 2013)	NN	76 kaza 16 Eylül - 16 Ekim 2009 tarihleri arasında	5 dk.	Tayvan	MAPE: 6.47%, RMSE: 2.02 dk.	Seyahat süresi
	(Chi-Sen Li ve Chen, 2014)	NN, CART ve K-ortalamlar (K-means)	76 kaza 16 Eylül - 16 Ekim 2009 tarihleri arasında	5 ve 10 dk.	Tayvan	MAPE: 6-9%	Seyahat süresi
	(Li ve diğerleri, 2020)	Kısıtlı Boltzmann makinesi (RBM) tabanlı bir derin füzyon modeli	968 kaza	5 ve 10 dk.	ABD, Kaliforniya	MAPE: 20.23%, RMSE: 11.84 dk.	Müdahale ve temizleme süresi
	(Li ve diğerleri, 2021)	Spiking sinir ağı (SNN) ve Evrişimsel sinir ağı (CNN)	11.940 kaza Şubat 2016 - 2020 tarihleri arasında	30 dk.	ABD, Kaliforniya	MAPE: 12.07%, RMSE: 8.13 dk.	Müdahale ve temizleme süresi
	(Lin ve Li, 2020)	NN, SVM, RF	13.338 kaza 2017 yılı boyunca	5 dk.	Çin, Beijing	En iyi MAPE: 3.05% (RF), 6.42% (SVM), 5.59% (NN); En iyi RMSE: 5.50 dk. (RF), 10.62 dk. (SVM), 6.05 dk. (NN)	Kaza oluşum süresi
	(Park, Haghani ve Zhang, 2016)	Bayes ANNs	13.987 olay 2010 - 2011 yılları arasında	30 dk.	ABD, Maryland	MAE: 18-29%, MSPE: 25-56%	Olay süresi
ET	(Vlahogianni ve Karlaftis, 2013)	Kısmi lojistik regresyon yapay sinir ağı (PLANN)	1.449 kaza 2012 yılında	-	Yunanistan, Athena	En iyi doğruluk: 9.23%, AIC, ROC, MDL	Olay süresi
	(Chen ve Tao, 2022)	TF-IDF-RF (Terim Frekansı-Ters Belge Frekansı-RF) ve Metin madenciliği	3.046 kaza Ocak 2020 - Nisan 2021 tarihleri arasında	-	Çin, Shaanxi	MAPE: 73-75%, RMSE, R2	Kaza süresi
	(Tang, Zheng, Han, Liu ve Cai, 2020)	Aşırı gradyan yükseltme makinesi algoritması (XGBoost), Bayes optimizasyonu, K-ortalamlar (K-means)	2.565 olay 1 Ocak - 31 Aralık 2011 tarihleri arasında	-	ABD, Washington/Seatle	MAPE: 22.1%	Temizleme süresi
	(Won, 2020)	Aykırı değer tespit yöntemleri (PCA, Medoidler etrafında bölümlenme (PAM) ve Isolation Forest), ET ve Hibrit ARM	2.455 olay 2012 - 2017 yılları arasında	30 ve 60 dk.	ABD, Maryland	En iyi MAE: 13.42 dk., En iyi MSE: 367.76 dk., AIC	Olay süresi
	(Zhao ve Deng, 2022)	Heterojen ET modeli (XGBoost, LGBM, CatBoost, Stacking ve Elastic Network)	2.366.002 başlangıç eğitim seti verisi 8 Şubat 2016 - 14 May 2020 ve 24.143 kayıt test seti verisi 14 May - 30 Haziran 2020 tarihleri arasında	-	ABD	MAPE: 35.6%, MAE: 30.7432 dk., MSE: 4252.1728	Kaza süresi
	(Zhao ve diğerleri, 2022)	Kümeleme-Tabanlı ET, K-ortalamlar (K-means), ANN, RF regresyon modeli	18.462 olay 14 Eylül 2020 - 5 Ocak 2021 tarihleri arasında	-	Singapur	MSE: 5314.78, RMSE: 72.90 dk.	Olay süresi
RF	(Bai ve diğerleri, 2022)	RSF model ve Çarpım sınırı tahmincisi (K-M) analizi	349 veri Ocak 2018 - Aralık 2020 tarihleri arasında	10 saatlik	Çin, Yunnan	MAE: 11.32 dk., MSE: 346.99, RSF model: 0.756 ve 0.867	Bildirme, müdahale ve temizleme süresi
	(Hamad, Al-Ruzouq, ve diğerleri, 2020)	RF ve ANN	140.653 olay 1 Ocak 2004 - 31 Aralık 2013 tarihleri arasında	-	ABD, Texas/Houston	En iyi MAE: 14.979 dk., RMSE: 20.231 dk.	Olay süresi
	(Liu, Zheng, Li ve Tang, 2022)	RF, k-NN, SVR	44.916 kaza Şubat 2016 - Haziran 2020 tarihleri arasında	5 dk.	ABD, Kaliforniya/Los Angeles	En iyi MAPE: 1.310%, En iyi RMSE: 11.214, En iyi MSE: 1.488	İkincil çarpışma/ aralık süresi
	(Shang, Tan, Gao ve Feng, 2019)	Komşuluk bileşenleri analizi (NCA) ve Bayes optimizasyon algoritması (BOA) ile optimize edilmiş RF	440 olay	10, 30, 60, ve 90 dk.	ABD, Kaliforniya	RF ve SVM için sınıflandırma doğruluğu: 84%	-

3. Yöntem

Bu araştırmanın birincil amacı İstanbul'daki trafik kaza verilerine dayalı olarak trafik kaza süresini ET ve NN yöntemleri ile tahmin etmek ve bu yöntemlerin performanslarını karşılaştırmaktır. Araştırmanın ikincil amacı ise trafik kaza süresini etkileyen temel faktörleri belirlemektir. Kaza süresinin tahmin edilebilmesi kaza nedeniyle meydana gelen trafik sıkışıklığının ne kadar süreceğinin de tahmin edilebilmesine imkân sağlayacaktır. Bu amaç için trafik kaza verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu araştırma kapsamında kullanılan İstanbul'a ait veri setleri İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) ve Emniyet Genel Müdürlüğü (EGM) olmak üzere iki farklı kaynaktan elde edilmiştir. Elde edilen veriler veri madenciliği kullanılarak incelenmiştir. Veri madenciliği, çalışma verilerinin en doğru şekilde analiz edilebilmesine imkân tanırken hata oranını da düşürmektedir. Böylece zaman ve performans kayıpları da önlenmiş olmaktadır. Ayıklanan nihai veri setine istatistik testleri ve ML algoritmaları uygulanarak trafik kaza süresi tahmini gerçekleştirilmiştir.

3.1. Materyal ve Veri Ön İşleme

Bu çalışmada analiz için kullanılan veri setlerinden biri İBB Ulaşım Daire Başkanlığı tarafından İBB Açık Veri Portalı üzerinden yayımlanmış olan İstanbul şehrine ait "Ulaşım Yönetim Merkezi Trafik Duyuru Verisi" başlıklı veri setidir ve açık erişimlidir (İBB UDB, 2023). İBB trafik duyuru veri seti 2013-2021 yıllarını kapsamaktadır. Veri seti içerisinde İstanbul'da gerçekleşen 159.411 trafik olay kaydı ve 13 farklı değişken bulunmaktadır. Diğer veri seti ise EGM Trafik Başkanlığı istatistik birimi tarafından sağlanan trafik kazaları veri tabanından elde edilmiştir. EGM trafik kazaları veri seti 2013-2021 yıllarını ve tüm Türkiye şehirlerini kapsamaktadır. EGM veri seti "kaza bilgisi" ve "kaza araç bilgisi" olmak üzere iki Excel dokümanı şeklinde elde edilmiştir. "Kaza bilgisi" veri seti içerisinde 1.338.387 trafik kaza kaydı ve 53 farklı değişken bulunurken; "kaza araç bilgisi" veri seti içerisinde 2.206.474 trafik kaza kaydı ve 11 farklı değişken bulunmaktadır. Bu araştırmanın aşamalarını açıklayan akış şeması Şekil 1'de sunulmaktadır.



Şekil 1. Araştırma süreci akış şeması.

Veri ön işleme (data preprocessing), bir dizi alt işlemi içerir. Bu işlemler arasında veri setlerini birleştirme, kapsam dışı ve eksik değer içeren sütunları çıkarma, eksik verileri tamamlama, aykırı ve tekrarlanan değerleri çıkarma, veri düzenleme, normalizasyon ve standardizasyon gibi adımlar bulunmaktadır. Eksik verilerin belirlenmesi, aykırı değerlerin düzeltilmesi ve veri setinin genel olarak temizlenmesi, analitik modellerin doğruluğunu artırır ve sonuçların daha güvenilir olmasını sağlar.

Araştırma kapsamında elde edilen “İBB Trafik Duyuruları”, “EGM Kaza Bilgisi” ve “EGM Kaza Araç Bilgisi” olmak üzere toplamda üç ayrı veri seti bulunmaktadır. İBB veri setinde sadece İstanbul şehri için kaza kayıtları bulunurken EGM veri setinde tüm Türkiye şehirlerine ait kaza kayıtları bulunmaktadır. Dolayısıyla ilk yapılması gerek işlem EGM veri setindeki kaza kayıtlarını sadece İstanbul şehrinin verilerini içerecek şekilde filtrelemek olmuştur. Daha sonra; analiz, modelleme ve tahminleme yapılabilmesi için üç ayrı veri setinin birleştirilerek tek bir veri seti haline dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu durumda ilk olarak EGM Trafik Başkanlığı’ndan elde edilen kaza bilgisi veri seti ile kaza araç bilgisi veri seti “KazaId” değişkeni esas alınarak eşleştirilmiş ve birleştirilmiştir. “KazaId” değişkeni her iki veri setinde de bulunmakta ve her kaza kaydı için benzersiz bir kimlik numarası belirtmektedir. Eşleştirme neticesinde birleştirilen veri seti içerisinde 1.338.387 trafik kaza kaydı ve 63 farklı değişken elde edilmiştir. EGM veri setlerinin kendi içerisinde birleştirilmesi sonrasında İBB trafik duyuruları veri seti üzerinden kaza süresi (AccDuration) bilgisi hesaplanmıştır. AccDuration, yani trafik kaza süresi, bir kazanın meydana gelmesi ile kaza yerinin başlangıç durumuna dönmesi arasındaki zaman farkı olarak ifade edilmektedir. Daha sonra EGM birleştirilmiş veri seti ile İBB trafik duyuruları veri setindeki “konum” ve “zaman” bilgilerini içeren değişkenler esas alınarak trafik kaza kayıtları eşleştirilmiştir.

Sonraki adımlarda bazı veri ön işleme uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, veri setindeki gereksiz bilgiler içeren ya da eksik değerlere sahip sütunlar çıkarılmıştır. Gereksiz veya eksik değer içeren sütunlar, analiz hedeflerine katkıda bulunmayan veya model performansını olumsuz etkileyen verileri içerebilir. Veri seti içerisinde eksik veri bulunan satır sayısı çok azdır. Bu kayıtlar, sayılarının çok az olması nedeniyle modelleme ve tahmin performansını olumsuz etkilememesi için veri setinden çıkarılmıştır. Aynı şekilde aykırı ve tekrarlanan değerleri çıkarma işlemi de tamamlanmıştır. Daha sonra, veri düzenleme işlemi yapılmıştır. Veri düzenleme, genel olarak kategorik değişkenlerin temizlenmesi ve bir standart ile tekrar ifade edilmesi olarak ifade edilebilir. Veri düzenleme safhası, iki yaklaşım ile tamamlanmıştır. Bu yaklaşımlar tek-sıcak kodlama (one-hot encoding) ve etiket kodlama (label encoding) olarak adlandırılmaktadır. Veri dönüştürme ise, genel olarak nümerik değişkenlerin yeniden ölçeklendirilmesi ve standartlaştırılması olarak tanımlanabilir. Bu çalışmada önce veriler düzenlenmiş daha sonra veri dönüştürme kapsamında normalizasyon ve standardizasyon uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Diğer yandan veri setine ait kategorik değişkenler, içerisinde bulunan metinsel ifadelerden arındırılarak rakamsal olarak sınıflandırma işlemine tabi tutulmuş etiketlenmiş ve kategorize edilmiştir.

Normalizasyon ve standardizasyon, veri ön işlemede kullanılan iki önemli yöntemdir. Normalizasyon veriyi 0 ile 1 değerleri arasında yeniden ölçeklendirirken, standardizasyon veriyi aynı ortalamaya (0) ve aynı standart sapmaya (1) sahip olacak şekilde yeniden ölçeklendirir (Karataş, 2021). Bu çalışmada en popüler normalizasyon yöntemlerinden biri olan min-maks normalizasyon yöntemi (min-max scaler) kullanılmıştır. Normalizasyon, Denklem 1 ile uygulanmaktadır.

$$X_{yeni} = \frac{X - X_{min}}{X_{maks} - X_{min}} \quad (1)$$

Denklem 1’de belirtilen X_{yeni} terimi değişken içerisindeki ilgili değer normalizasyon formülü ile hesaplanmış olan yeni değerini, X_{min} terimi ilgili değişkende bulunan en küçük değeri ve X_{maks} terimi ilgili değişkende bulunan en büyük değeri ifade etmektedir. Değişken değerlerini standartlaştıran standardizasyon ise Denklem 2 ile gerçekleştirilmektedir.

$$z = \frac{X - \mu}{s} \quad (2)$$

Denklem 2’de belirtilen z terimi standardizasyon ile hesaplanmış yeni z -puan değerini, X terimi örneklem sayısını, μ terimi örneklemin ortalamasını ve s terimi de standart sapmayı ifade etmektedir.

Elde edilen veri setinde mükerrer veri bulunamamıştır. Bu nedenle, tekrarlanan değerleri çıkarma kapsamında bu veri setinden herhangi bir kesinti yapılmamıştır. Ancak, elde edilen veri seti içerisindeki “AccDuration” değişkeninde aykırı değerler bulunduğu tespit edilmiştir. “AccDuration” değişkeni içerisindeki veriler incelendiğinde en kısa kaza süresinin yaklaşık 1 dakika ve en uzun kaza süresinin de yaklaşık 1.440 dakika (24 saat) olduğu ve verilerin bu değerler aralığında değişkenlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Değişken verilerinin dağılımına bakıldığında ise özellikle 120 dakikanın üzerindeki verilerin aykırı değerler olduğu tespit edilmiştir. Diğer yandan, literatürdeki çalışmalara göre 90 ya da 120 dakikanın üzerindeki kaza sürelerinin büyük ölçekli kaza olarak tanımlandığı ve farklı bir çalışma ile incelenmesi gerektiği ifade edilmektedir (Zhang, Zhang ve Khattak, 2012). Kısa süreli kazalar ile uzun süreli kazalar arasındaki etkileyici faktörlerin ve tahmin belirleyicilerinin farklı olabileceğine dikkat çekilmektedir. Tüm bu değerlendirmeler neticesinde ilgili aykırı değerler veri setinden çıkarılarak, veri setinin genel kalitesi artırılmış ve modelleme ile tahminleme süreçlerinin daha sağlıklı bir temele oturmasına olanak sağlanmıştır.

3.2. Veri Analizi

Veri ön işleme sürecinde veri setlerinin birleştirilip, eksik ve aykırı değerler çıkarıldıktan, filtreleme ve hata kontrol işlemleri yapıldıktan sonra nihai veri seti elde edilmiştir. Nihai veri seti, 2013-2021 yılları arasındaki İstanbul'da gerçekleşen 1.905 trafik kaza kaydını içermektedir. Bu çalışmada kullanılan nihai veri setinde kaza süresi 90 dakikadan kısa süren veriler dikkate alınmıştır. Bunun temel iki nedeni bulunmaktadır. Birincisi, kaza süresi 90 dakikanın üzerindeki verilerin dağınık olması ve çok fazla aykırı değere sahip olması; ikincisi ise bu çalışmanın odağının büyük ölçekli değil, küçük ölçekli ve kısa süreli kazaların tahmin edilmesidir. Diğer yandan, literatürdeki çalışmalara göre 90 ya da 120 dakikanın üzerindeki kaza sürelerinin büyük ölçekli kaza olarak tanımlandığı ve farklı bir çalışma ile incelenmesi gerektiği ifade edilmektedir (Zhang ve diğerleri, 2012). Bu nedenlerle kaza süresi 90 dakikanın üzerinde bulunan kaza kayıtları veri setinden çıkarılmıştır.

Nihai veri seti üzerinde birtakım istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel analiz, elde edilen veriler üzerinden anlam çıkarmak, desenleri tanımlamak, değişkenler arasındaki ilişkileri anlamak ve gelecekteki olayları tahmin etmek için istatistik yöntemlerini kullanarak yapılan bir analiz türüdür. Bu çalışmada, istatistiksel analiz kapsamında tanımlayıcı analiz (descriptive analysis), korelasyon analizi, konumsal, zamansal ve çevresel analizler gerçekleştirilmiştir.

Tanımlayıcı analiz, veri setinin genel özelliklerini anlamak, önemli örüntüleri ve trendleri belirlemek ve ileri analiz için bir temel oluşturmak için kullanılmaktadır. Tanımlayıcı analiz, nihai veri seti içerisinde yer alan İstanbul'daki trafik kazalarının ve ilgili değişkenlerinin genel özelliklerini ayrıntılı bir şekilde ortaya koymayı amaçlamaktadır. Elde edilen nihai veri seti ve tanımlayıcı analiz sonuçları Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Nihai veri seti ve tanımlayıcı analiz sonuçları.

Değişken Adı	Veri Tipi	Benzersiz Değer Sayısı	Tekrarlanan Değer	Min.	Maks.	Ranj (Genişlik)	Ortalama	Ortanca	Mod	Standart Sapma	Varyans
Kazallcesi	Kategorik	38	Var	2	41	39	20,35	20	7	-	-
KazaYerlesimYeri	Kategorik	2	Var	1	2	1	1,26	1	1	-	-
YolunTipi	Kategorik	4	Var	1	4	3	1,22	1	1	-	-
YolKaplama	Kategorik	4	Var	1	4	3	1,01	1	1	-	-
YolunSinifi	Kategorik	9	Var	1	12	11	3,42	3	4	-	-
GeoYatay	Kategorik	3	Var	1	3	2	1,07	1	1	-	-
GeoDusey	Kategorik	4	Var	1	4	3	1,17	1	1	-	-
GeoKavsak	Kategorik	8	Var	1	8	7	7,58	8	8	-	-
GeoGecit	Kategorik	5	Var	1	5	4	4,93	5	5	-	-
GeoDiger	Kategorik	7	Var	1	8	7	7,80	8	8	-	-
GunDurumu	Kategorik	3	Var	1	3	2	1,41	1	1	-	-
HavaDurumu	Kategorik	6	Var	1	10	9	1,33	1	1	-	-
YolunYuzeyi	Kategorik	5	Var	1	6	5	1,16	1	1	-	-
ilkYardim	Kategorik	3	Var	1	3	2	1,07	1	1	-	-
KazaOlusTuru	Kategorik	13	Var	1	14	13	4,54	3	2	-	-
CarpismaYeri	Kategorik	10	Var	1	11	10	1,26	1	1	-	-
KazaYolKusuru	Kategorik	5	Var	1	8	7	7,99	8	8	-	-
YolGenisligi	Kategorik	8	Var	1	8	7	1,93	1	1	-	-
OtoKorkuluk	Kategorik	2	Var	1	2	1	1,23	1	1	-	-
YayaYolu	Kategorik	3	Var	1	3	2	1,85	2	2	-	-
EmniyetSeritiBanket	Kategorik	3	Var	1	3	2	1,65	2	2	-	-
YolSeritCizgisi	Kategorik	3	Var	1	3	2	1,05	1	1	-	-
TrafikIsaretLevhasi	Kategorik	3	Var	1	3	2	1,82	2	2	-	-
TrafikLambasi	Kategorik	3	Var	1	3	2	2,71	3	3	-	-
Aydinlatma	Kategorik	3	Var	1	3	2	1,42	1	1	-	-
TrafikGorevli	Kategorik	2	Var	1	2	1	1,98	2	2	-	-
GoruseEngelCisim	Kategorik	1	Var	2	2	0	2,00	2	2	-	-
HasarGorenUnsur	Kategorik	2	Var	1	2	1	1,81	2	2	-	-
YoldaCalisma	Kategorik	2	Var	1	2	1	1,99	2	2	-	-
ToplamOluSayisi	Nümerik	2	Var	0	1	1	0,02	0	0	0,12	0,02
ToplamYaraliSayisi	Nümerik	16	Var	0	28	28	1,60	1	1	1,42	2,01
Bisiklet	Nümerik	2	Var	0	1	1	0,00	0	0	0,04	0,00
AtArabasi	Nümerik	1	Var	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0,00
MotorluBisiklet	Nümerik	3	Var	0	2	2	0,03	0	0	0,16	0,03
Motosiklet	Nümerik	3	Var	0	2	2	0,29	0	0	0,48	0,23
Otomobil	Nümerik	8	Var	0	7	7	1,21	1	1	1,00	1,00
Minibus	Nümerik	4	Var	0	3	3	0,07	0	0	0,28	0,08
Kamyonet	Nümerik	5	Var	0	4	4	0,30	0	0	0,55	0,30
Kamyon	Nümerik	4	Var	0	3	3	0,05	0	0	0,22	0,05
Cekici	Nümerik	3	Var	0	2	2	0,04	0	0	0,19	0,04
Otobus	Nümerik	3	Var	0	2	2	0,06	0	0	0,26	0,07
Traktor	Nümerik	1	Var	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0,00
AraziTasiti	Nümerik	2	Var	0	1	1	0,00	0	0	0,04	0,00
OzelAmacli	Nümerik	2	Var	0	1	1	0,01	0	0	0,08	0,01
IsMakinesi	Nümerik	2	Var	0	1	1	0,00	0	0	0,05	0,00
Ambulans	Nümerik	2	Var	0	1	1	0,00	0	0	0,05	0,00
Tanker	Nümerik	3	Var	0	2	2	0,00	0	0	0,05	0,00
Tren	Nümerik	1	Var	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0,00
Tramvay	Nümerik	2	Var	0	1	1	0,00	0	0	0,05	0,00
DigerArac	Nümerik	2	Var	0	1	1	0,02	0	0	0,12	0,01
ElektrikliSkuter	Nümerik	1	Var	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0,00
AccDuration	Nümerik	1074	Var	2,083	89,983	87,900	45,807	37,417	28,80	20,809	432,995

Korelasyon analizi, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi ve bu ilişkinin gücünü ölçen istatistiksel bir tekniktir. Korelasyon analizi genellikle Pearson Korelasyon Katsayısı kullanılarak yapılmaktadır (Miles ve Banyard, 2007). Pearson korelasyonu, iki sürekli değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi ölçen parametrik bir ölçüdür (Gibbons, 1997; Howell, 1992). Değerleri -1 ile +1 arasında değişmektedir (Cohen, 2013). +1, tam pozitif korelasyon, yani bir değişken arttığında diğer değişken de doğrusal bir şekilde artmaktadır. 0, iki değişken arasında korelasyon yoktur manasındadır. -1, tam negatif korelasyon, yani bir değişken arttığında diğer değişken doğrusal bir şekilde azalmaktadır. Araştırma kapsamında gerçekleştirilen korelasyon analiz sonuçlarına göre aralarında korelasyon bulunan değişkenler ve ilgili değerler Tablo 3'te sunulmaktadır.

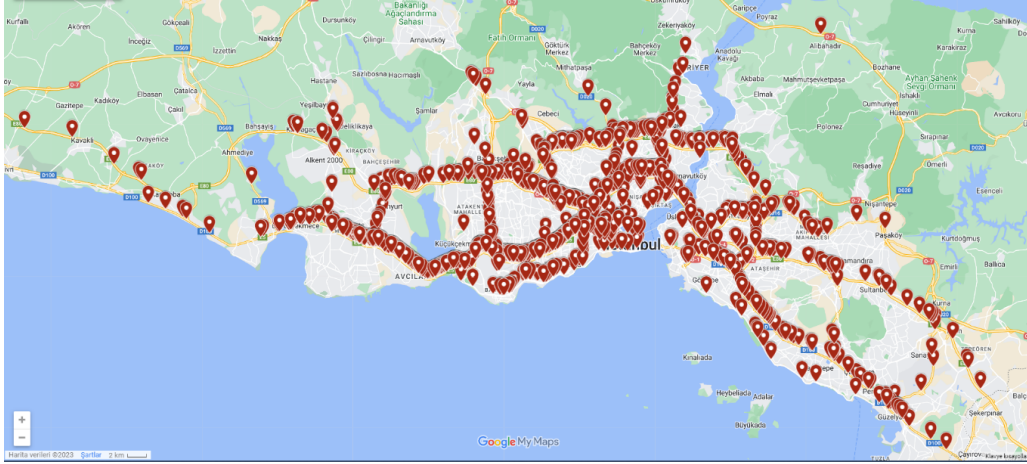
Tablo 3. Korelasyon analiz sonuçları.

Değişkenler	KazaOlusTuru	AracSayisinaGoreKaza	SonucOluSurucu	SonucOluYaya	SonucYaraliYolcu	ToplamOluSayisi	ToplamYaraliSayisi	KazaOlumlu	KazaYaralamali	Otomobil	ToplamAracSayisi	AccDuration
KazaOlusTuru	1,00											
AracSayisinaGoreKaza	-0,67	1,00										
SonucOluSurucu	0,02	-0,01	1,00									
SonucOluYaya	0,11	-0,09	-0,01	1,00								
SonucYaraliYolcu	-0,07	0,10	-0,02	-0,02	1,00							
ToplamOluSayisi	0,10	-0,08	0,63	0,70	-0,03	1,00						
ToplamYaraliSayisi	-0,06	0,08	-0,06	-0,05	0,93	-0,07	1,00					
KazaOlumlu	0,10	-0,08	0,63	0,70	-0,03	1,00	-0,07	1,00				
KazaYaralamali	-0,10	0,08	-0,63	-0,70	0,03	-1,00	0,07	-1,00	1,00			
Otomobil	-0,32	0,59	-0,04	-0,05	0,11	-0,06	0,10	-0,06	0,06	1,00		
ToplamAracSayisi	-0,53	0,90	-0,01	-0,08	0,11	-0,07	0,09	-0,07	0,07	0,68	1,00	
AccDuration	-0,41	0,84	-0,01	-0,06	0,10	-0,04	0,08	-0,04	0,04	0,62	0,84	1,00

Bu araştırma kapsamında kullanılan nihai veri seti değişkenlerine korelasyon analizi uygulanmıştır. Tablo 3'te sunulan korelasyon matrisine göre -0,50 değerinden küçük ve 0,50 değerinden büyük korelasyonlar kırmızı renk ile vurgulanmaktadır. Analiz sonuçlarına göre bazı değişkenler arasında yüksek pozitif ve negatif korelasyonlar olduğu tespit edilmiştir. KazaOlumlu ile ToplamOluSayisi değişkenleri arasında +1, KazaYaralamali ile ToplamOluSayisi ve KazaOlumlu değişkenleri arasında -1, ToplamYaraliSayisi ile SonucYaraliYolcu değişkenleri arasında 0,93 değerlerinde negatif veya pozitif doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür. Bu durumda Multikolinerite (Multicollinearity) problemi ortaya çıkmaktadır. Multikolinerite, bir tahmin modelindeki bağımsız değişkenler arasında yüksek bir korelasyon veya ilişkinin olduğu durumu ifade etmektedir (Farrar ve Glauber, 1967). Yani, bir veya daha fazla bağımsız değişkenin diğer bağımsız değişken(ler) ile güçlü bir şekilde ilişkili olduğu durumları kapsar. Bu durum, tahmin modelinde sorunlara neden olabilir. Bu noktada, doğru bir analiz ve yüksek tahmin gücü gerçekleştirilebilmek amacıyla negatif ve pozitif korelasyona neden olan ve ayrıca model performansını olumsuz etkileyebileceği değerlendirilen SonucOluSurucu, SonucOluYolcu, SonucOluYaya, SonucYaraliYolcu, SonucYaraliYaya, KazaOlumlu, KazaYaralamali, AracSayisinaGoreKaza, ToplamAracSayisi isimli değişkenler modelden çıkarılmıştır.

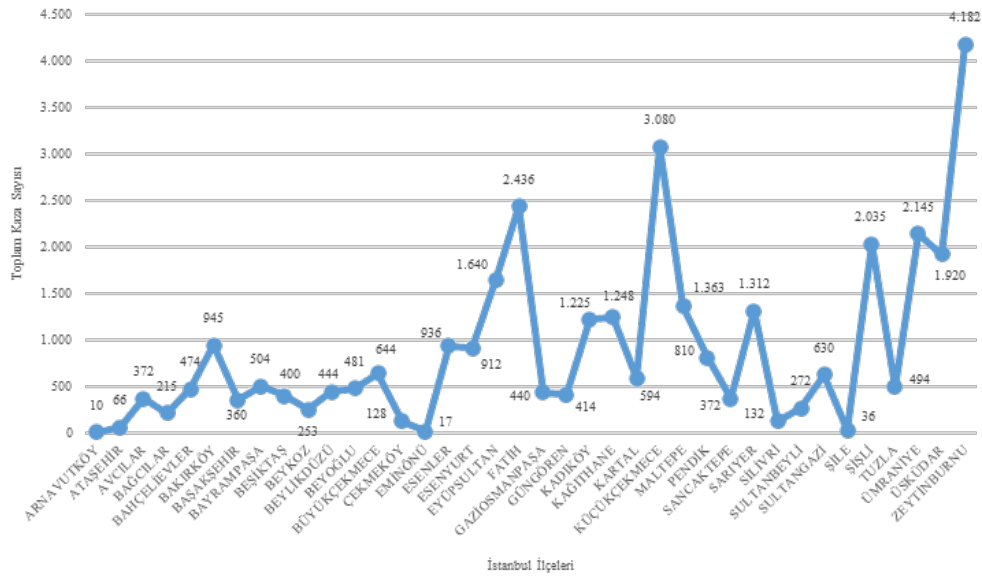
Diğer bir analiz olarak konumsal analiz uygulanmıştır. Nihai veri setine göre 2013-2021 yılları arasında İstanbul'da gerçekleşen trafik kazalarının konumları Şekil 2'de görselleştirilmiştir. Google Haritalar aracılığıyla oluşturulan bu görsel, İstanbul'un farklı bölgelerindeki trafik kazalarının coğrafi olarak dağılımını göstermektedir. İlçe ve ana arter yol bazında detaylı bir analiz sunan bu harita, kaza sıklığının yoğun olduğu alanları ve güzergâhları belirlemek ve bu bölgelerdeki trafik güvenliğini artırmak için alınacak tedbirleri yönlendirmek adına değerli bir kaynak olduğu düşünülmektedir. Haritaya bakıldığında İstanbul'daki kazaların büyük bir bölümünün TEM, E-80, E5, D-100 Karayolu, Sahil Yolu isimleriyle bilinen ana arter yollarda ve E5-TEM bağlantı yollarında gerçekleştiği görülmektedir. Bu analiz, ML algoritmalarının kaza konum verileri üzerindeki rolünü değerlendirmek adına önemli ipuçları sunmaktadır. Elde edilen sonuçlar, algoritmaların belirli yıllardaki kaza eğilimlerini belirleme ve bu verilere dayanarak gelecekteki kazaları tahmin etme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

İstanbul'da 39 ilçe bulunmaktadır. Adalar hariç 38 ilçede 2013-2021 yılları arasında gerçekleşen toplam trafik kaza sayılarının görselleştirildiği grafik Şekil 3'te gösterilmektedir. Çizgi grafikte her bir nokta, o ilçede meydana gelen toplam trafik kaza sayısını temsil etmektedir. Toplam kaza sayıları değerlendirildiğinde, 4.182 ile en yüksek kaza sayısının Zeytinburnu ve ardından



Şekil 2. İstanbul'da gerçekleşen trafik kaza konumlarının coğrafi dağılımı.

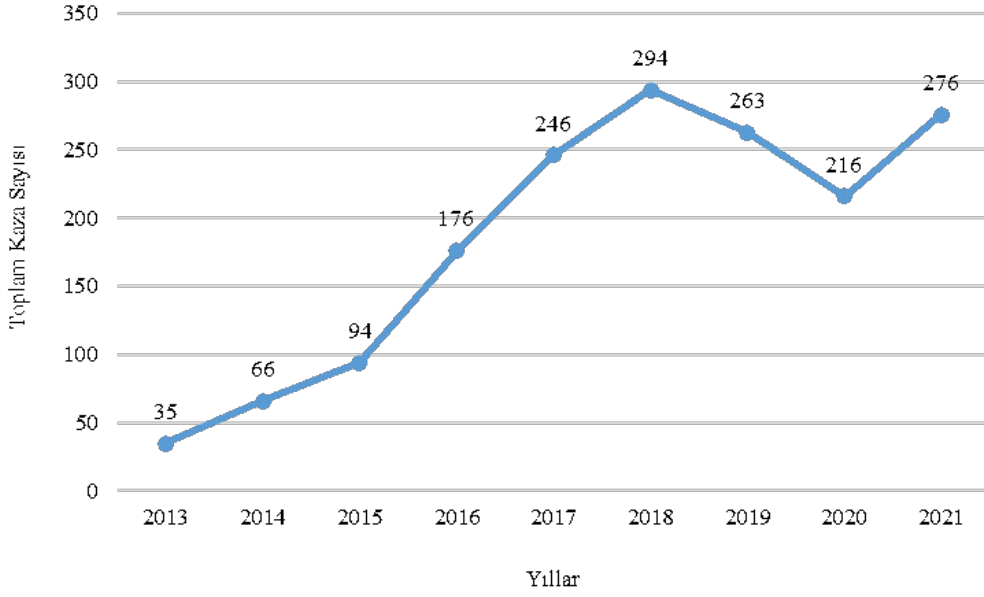
3.080 ile Küçükçekmece ve 2.436 ile Fatih ilçelerinde ve en düşük kaza sayısının da 10 ile Arnavutköy ilçesinde gerçekleştiği görülmektedir. İlçelere göre gerçekleşen toplam kaza sayıları dalgalı bir dağılım göstermektedir. Bu dalgalı dağılımın sebepleri zamansal ve çevresel faktörlerdeki farklılıklar olabileceği gibi; ilçelerdeki yol ağı yapısı, kavşak ve ana arter yollara katılımların yönetimi, cazibe ve iş merkezlerine yakınlık gibi diğer faktörlerin de etkisi olabileceği değerlendirilmektedir.



Şekil 3. İstanbul'da gerçekleşen trafik kaza konumlarının coğrafi dağılımı.

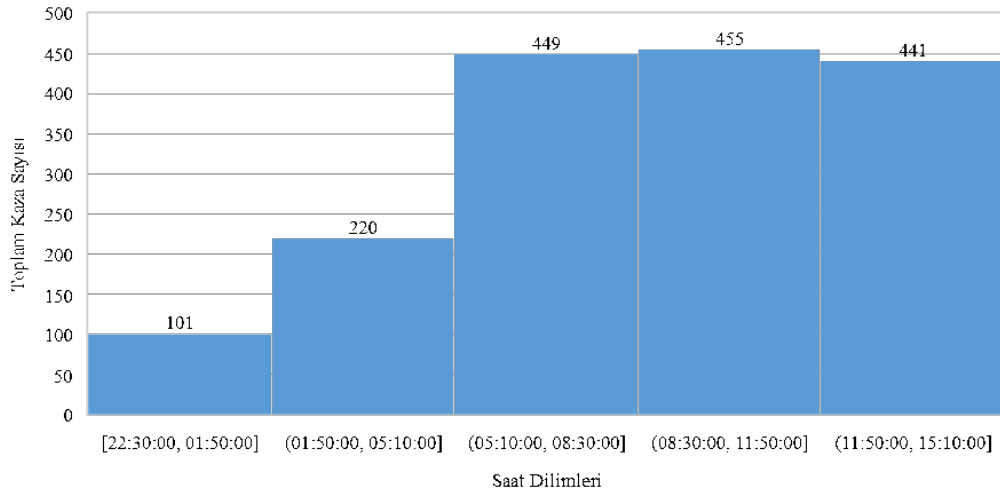
Veri analizi kapsamında değerlendirilen zamansal analiz, İstanbul'daki trafik kaza verilerinin zaman içinde nasıl değiştiğini anlamak ve bu değişikliklerin trafik kaza süresine olan etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. Şekil 4'te görüldüğü üzere, 2013-2018 yılları arasında yukarı yönlü bir eğilimin olduğu ve toplam kaza sayılarında sürekli bir artış yaşandığı gözlemlenmiştir. 2018-2020 yılları arasında ise aşağı yönlü bir eğilim ile belirgin bir azalış yaşandığı görülmektedir. Bu yıllar arasında ve dünya genelinde yaşanan Kovid19 salgını ve sokağa çıkma yasaklarının bu düşüşte önemli bir paya sahip olabileceği değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, 35 toplam kaza sayısı ile en düşük kazanın yaşandığı yıl 2013, 294 kaza sayısı ile en yüksek yıl 2018 olmuştur. Bu noktada, toplam kaza sayıları bakımından gözlemlenen eğilimler ve uç değerler, trafik yönetiminin ve güvenliğinin değerlendirilmesinde katkı sağlayabilir.

İstanbul'da gerçekleşen toplam trafik kaza sayılarının saatlik dilimlere göre dağılımı Şekil 5'te gösterilmektedir. Sunulan histogram, İstanbul'da meydana gelen trafik kazalarının saatlik değişimini 24 saatlik dilime göre ayrıntılı bir şekilde ortaya koymaktadır. Buna göre, 455 toplam trafik kaza sayısı ile trafik kazalarının en yoğun şekilde yaşandığı saat dilimi 08.30 ile 11.50



Şekil 4. Yıllara göre toplam kaza sayılarının dağılımı.

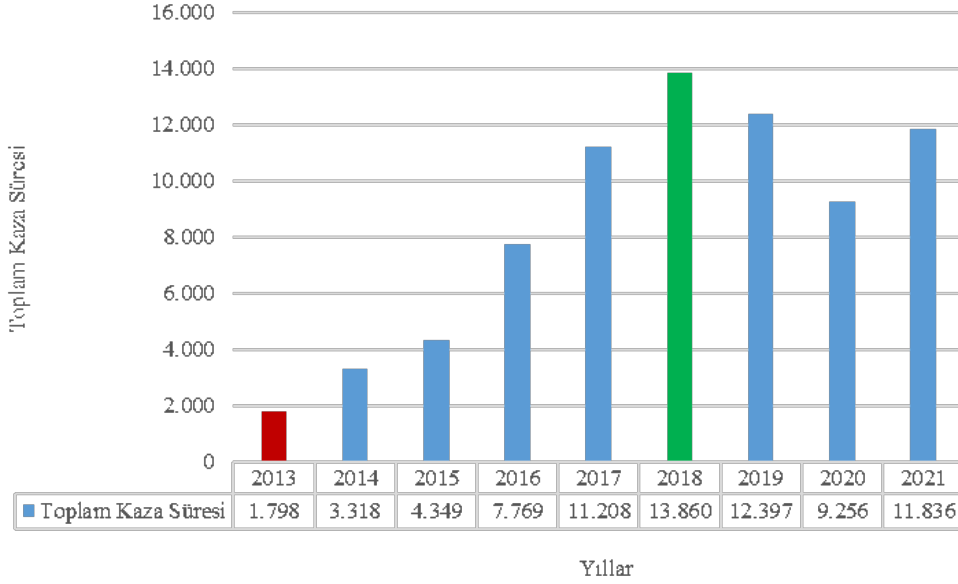
olarak gözlemlenmektedir. Ardından sırasıyla, 449 toplam trafik kaza sayısı ile saat 05.10 ile 08.30 arası ve 441 kaza sayısı ile saat 11.50 ile 15.10 arası gelmektedir. Özellikle, işe gidiş ve iş saatlerindeki yoğunluğun kazalar üzerindeki etkileri dikkat çekmektedir. Diğer açıdan, 101 toplam trafik kaza sayısı ile 22.30 ile 01.50 saatleri arası, trafik kazalarının en az yaşandığı saat dilimi olmuştur. Bu bulgular, trafik kazalarını azaltma çabalarının saatlik dinamiklere yönelik daha spesifik ve hedefli bir şekilde planlanmasına olanak tanımaktadır. Saatlik değişimin detaylı bir analizi, trafik güvenliği uygulamalarının daha etkin bir şekilde uyarlanabilmesi için önemli bir temel sunmaktadır.



Şekil 5. Saat aralıklarına göre toplam kaza sayılarının dağılımı.

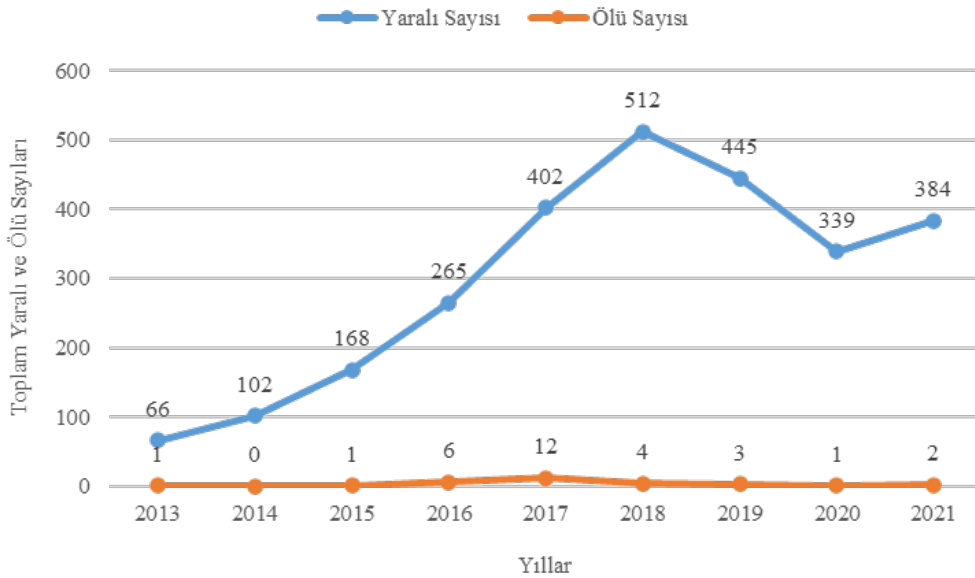
Bu bölümde sunulan Şekil 6, İstanbul'da meydana gelen trafik kaza sürelerinin yıllara göre nasıl bir dağılım gösterdiğini görselleştirmektedir. Grafik üzerinden elde edilecek bilgiler, trafik kazalarının sürelerinin yıllar arasında nasıl bir dağılım gösterdiğini anlamak açısından değerli ipuçları sunmaktadır. Örneğin, 2013 yılından 2018 yılına kadar toplam kaza sürelerinde düzenli bir artış yaşandığı görülmektedir. 2018 yılından 2020 yılına kadar ise belirgin bir azalış yaşandığı gözlemlenmektedir. Bu yıllar arasında ve dünya genelinde yaşanan Kovid19 salgını ve sokağa çıkma yasaklarının bu düşüşte önemli bir paya sahip olabileceği değerlendirilmektedir. Ek olarak, toplam kaza süresinin en düşük olduğu yıl 2013 iken, en yüksek yıl 2018 olmuştur. Bahsi geçen yıllardaki kaza sürelerinde gözlemlenen artışlar veya azalmalar, trafik güvenliği üzerinde etkili olan faktörlerin belirlenmesine katkıda bulunabilir. Bu noktada, trafik kazalarının ve sebep oldukları trafik sıkışıklıklarından kaynaklanan zamansal, çevresel ve

ekonomik kayıplar düşünüldüğünde, kaza sürelerini en aza indirme çabaları her geçen gün değer kazanmaktadır. Ayrıca, değişimlerin veya belirli dönemlerdeki eğilimlerin, kaza sürelerini nasıl etkilediğini anlamak, trafik güvenliği politikalarının planlanması açısından da önem taşımaktadır.



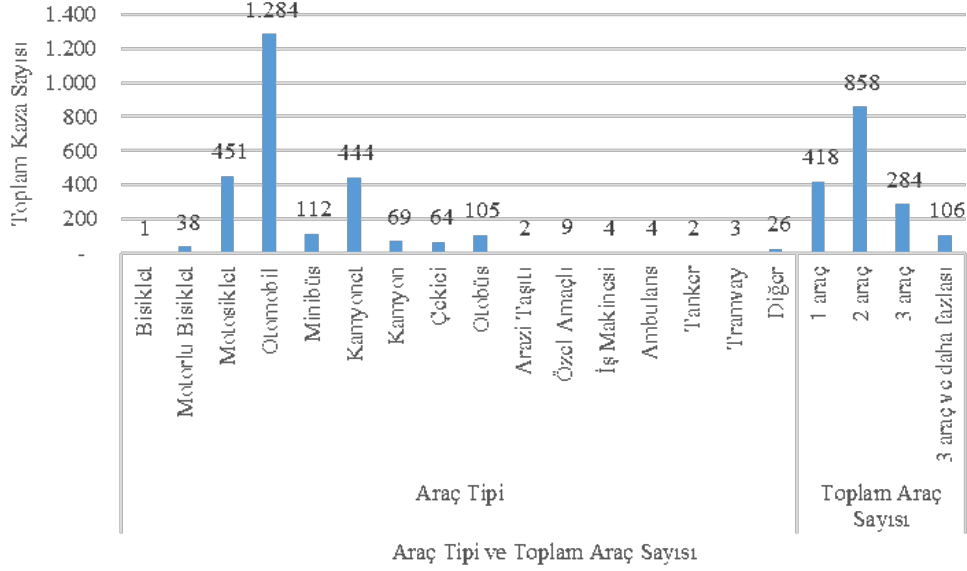
Şekil 6. Yıllara göre toplam kaza sürelerinin dağılımı.

Bu bölüm, İstanbul'daki trafik kazalarının yıllık değişimine odaklanarak özellikle kaza şiddetinin nasıl evrildiğini anlamayı amaçlamaktadır. Şekil 7'de, yıl bazlı trafik kazalarında gerçekleşen toplam yaralı ve ölü sayıları sunulmaktadır. Grafiğe bakıldığında, 2013 yılı içerisinde yaşanan trafik kazalarının toplam şiddeti 66 yaralı ve 1 ölü olarak gerçekleşmiştir. 2013 yılından 2018 yılına dek ölü ve yaralı sayıları bakımından kazaların şiddeti artmıştır. 2018 yılı, toplam kaza şiddeti 512 yaralı ve 12 ölü ile en yüksek yaralı ve ölü sayısına sahip yıl olarak değerlendirilmektedir. 2018 yılından 2020 yılına kadar az da olsa sürekli bir düşüş yaşandığı görülmektedir. Bu yıllar arasında ve dünya genelinde yaşanan Kovid19 salgını ve sokağa çıkma yasaklarının bu düşüşte önemli bir paya sahip olabileceği değerlendirilmektedir.



Şekil 7. Yıllara göre trafik kazalarında gerçekleşen toplam yaralı ve ölü sayıları.

Diğer bir açıdan, araç tipi bazlı trafik kaza analizi gerçekleştirildiğinde, farklı araç kategorilerinin trafik kazalarına olan etkisi görülmektedir. Bu bağlamda; otomobiller, kamyonlar, motosikletler, bisikletler gibi farklı araç tiplerinin kazalara karışma oranları ve bu kazalardaki rolü incelenmektedir. Grafiğe bakıldığında, kazalara en sık karışan ilk üç araç tipinin sırasıyla otomobil, kamyonet ve motosiklet olduğu görülmektedir. Araç tipi bazlı analiz, kazaların spesifik araç kategorileri için nasıl farklılık gösterdiğini anlamak açısından önemlidir. Araç tipi ve toplam araç sayısına göre toplam kaza sayısı dağılımını gösteren grafik Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 8. Araç tipi ve toplam araç sayısına göre toplam kaza sayısı dağılımı.

3.3. Modelleme

Bu araştırma, elde edilen veri setinin yapısı ve ele alınan probleme göre denetimli bir regresyon ML tekniğini gerektirmektedir. Veri setindeki bağımlı değişkenin sürekli bir değer olması gereken durumlarda kullanılan bu algoritmalar, veri analizi ve tahmin yetenekleriyle ön plana çıkmaktadırlar. Bu çalışmada etiketlenmiş bir veri seti üzerinde denetimli öğrenme kapsamında regresyon algoritmaları kullanılmıştır. Birçok denetimli regresyon tekniği mevcut olsa da bu çalışmada, literatürde oldukça yaygın olarak kullanılan ve bu çalışmanın sonuçlarının literatür ile karşılaştırılabilmesi için ET ve NN algoritmaları kullanılmış ve performansları karşılaştırılmıştır.

3.3.1. Topluluk Ağacı Modelleme

ET yöntemi, genellikle birden fazla karar ağacının bir araya getirilmesiyle oluşturulan bir topluluk öğrenme yöntemidir. Bu teknik, RF ve gradyan artırma ağaçları gibi modellerle uygulanır. ET, tek bir karar ağacının gücünü ve genelleme yeteneğini artırmak için bir araya getirilen bir dizi ağacı içerir. Her bir ağaç, farklı bir alt küme veri üzerinde eğitilir ve bu nedenle farklı özellikleri veya örüntüleri öğrenir. Sonuç olarak ET, her bir ağacın gücünü bir araya getirerek daha kararlı ve geliştirilmiş bir tahmin elde eder. ET'nin avantajlarından biri, aşırı öğrenme/uyum (overfitting) riskini azaltma yetenekleridir. Her bir ağaç, yalnızca rastgele örneklemeler üzerinde eğitildiği için, her ağaç genellikle farklı özellikleri veya örüntüleri öğrenir. Bu da topluluk olarak bir araya getirildiğinde, genelleme yeteneği daha yüksek bir model elde edilmesini sağlar. Ayrıca ET, büyük veri kümeleriyle çalışırken yüksek performans sağlar. Paralel hesaplama yeteneklerinden dolayı, büyük veri kümelerinde hızlı ve etkili bir şekilde çalışabilirler. Ancak ET algoritmasında dikkate alınması gereken bazı hususlar vardır. Örneğin, modelin karmaşıklığını artırabilirler ve anlaşılması ve yorumlanması daha zor olabilir. Ayrıca, bazı durumlarda eğitim süreçleri daha uzun olabilir ve daha fazla hesaplama gücü gerektirebilir.

ET içerisinde iki tür vardır: torbalanmış (bagged) ağaçlar ve güçlendirilmiş (boosted) ağaçlar. Torbalanmış ağaçlar, diğer adıyla RF, bir ağaçta birçok bootstrap geliştirerek ve ardından bunları karar ağacında birleştirerek toplulukta farklı modeller oluşturur. Nihai karar, ağacın nihai kararının ortalaması alınarak hesaplanır. Güçlendirilmiş ağaçlar da iki adımdan oluşan bir regresyon ağaçları topluluğudur. İlk olarak, bir dizi ortalama performans gösteren model üretmek için orijinal verilerin alt kümelerini

kullanır. Daha sonra, belirli bir maliyet fonksiyonu kullanarak bunları bir araya getirerek performanslarını artırır. Genel olarak, bir RF modelinin matematiksel gösterimi Denklem 3'te sunulmaktadır.

$$y(x) = \frac{1}{B} \sum_{i=1}^B T_i(x) \quad (3)$$

Bu gösterimde; $y(x)$ verilen giriş örneği x için yapılan tahmini çıktı değerini temsil eder. B modelde kullanılan ağaçların sayısını belirtir, $T_i(x)$ i numaralı ağacın giriş örneği x için yaptığı tahmini ifade etmektedir.

3.3.2. Sinir Ağları Modelleme

NN, ML içerisindeki en güçlü ve esnek araçlardan biridir. Biyolojik sinir ağlarının çalışma prensiplerinden esinlenerek tasarlanmışlardır. NN, karmaşık veri yapılarını öğrenmek, sınıflandırmak ve tahmin etmek için kullanılırlar. Görsel tanıma, doğal dil işleme, ses tanıma, oyun stratejileri ve daha birçok alanında başarıyla uygulanmışlardır. NN, birçok nöron adı verilen basit birimlerden oluşur. Bu nöronlar, girdi verilerini alır, bunları işler ve sonuçları bir çıktıya dönüştürürler. NN'nin temel yapı taşı olan bu nöronlar, girdilerle çıktılar arasında ağırlıklarla ayrılmış bağlantılarla ilişkilidir. Nöronlar, bu bağlantıları ve ağırlıkları kullanarak girdileri işler ve sonuç olarak bir çıktı üretirler. NN genellikle katmanlar halinde düzenlenir. En basit NN yapısı olan tek katmanlı bir yapıdan, çok katmanlı derin sinir ağlarına kadar çeşitli yapılar mevcuttur. En yaygın yapı olan çok katmanlı yapılarda, girdi katmanı, gizli katmanlar ve çıktı katmanı bulunur. Her katman, önceki katmanın çıktılarını alır, işler ve sonuçları bir sonraki katmana iletir.

NN genellikle bir eğitim sürecinden geçirilir. Bu süreçte, ağa verilen eğitim verisi üzerinde öğrenme gerçekleşir. Ağın çıktıları, gerçek etiketler veya hedeflerle karşılaştırılır ve bu karşılaştırmaların sonucunda ağın içindeki parametreler, özellikle de bağlantı ağırlıkları, güncellenir. Bu güncellemeler, ağın daha doğru tahminler yapmasını sağlamak için gerçekleştirilir. Eğitim süreci, genellikle geri yayılım (backpropagation) adı verilen bir algoritma ile gerçekleştirilir. NN, esneklikleri ve genelleyebilme yetenekleri nedeniyle birçok uygulama alanında büyük başarı elde etmişlerdir. Ancak, büyük miktarda veri ve hesaplama gücü gerektirebilirler. Bu nedenle, NN genellikle büyük ölçekli problemlerle ve DL gibi karmaşık algoritmalarla ilişkilendirilirler. Son yıllarda, DL teknikleriyle birlikte, NN özellikle görsel tanıma, doğal dil işleme ve oyun yapay zekası gibi alanlarda devrim niteliğinde ilerlemeler kaydetmiştir. NN'nin matematiksel olarak ifade edilen temel bir formülü, bir sinir hücresinin çıktısını hesaplamak için kullanılan işlemi tanımlar. Genel olarak, bir sinir hücresinin çıktısı Denklem 4'te sunulmaktadır.

$$y = f(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b) \quad (4)$$

Bu gösterimde; y sinir hücresinin çıktısını, f aktivasyon fonksiyonunu (Bu fonksiyon, sinir hücresinin çıktısını belirli bir aralığa sıkıştırmak için kullanılır. Örnek olarak sigmoid, ReLU, tanh gibi fonksiyonlar kullanılabilir.), x_i girdi değerini ve w_i girdinin ağırlığını, b bias terimini (Bu terim, sinir hücresinin girdilerine eklenen sabit bir değerdir.) temsil etmektedir.

3.3.3. Performans Ölçüm Metrikleri

Model performansını değerlendirmek için kullanılan ölçüm metrikleri, modelin tahmin yeteneğini değerlendirmek için kullanılan kıstaslardır. Bu çalışmada uygulanan algoritmaların performans ölçümleri için R^2 , MSE, RMSE ve MAE metrikleri kullanılmıştır. R-Kare Belirleme Katsayısı (R^2), regresyon modelinin bağımsız değişkenlerle bağımlı değişken arasındaki varyansın ne kadarını açıkladığını ölçen bir metriktir. Başka bir deyişle, R^2 bağımsız değişkenin bağımlı değişkendeki toplam değişikliklerin yüzdesini açıklayabildiğini gösterir. Değerleri 0 ile 1 arasında değişir, 1'e yaklaştıkça modelin daha iyi performans sergilediğini gösterir. MSE, hataların karesinin ortalamasını hesaplar ve modelin performansını değerlendiren bir diğer önemli metriktir. MSE, modelin gerçek değerlerle tahmin ettiği değerler arasındaki ortalama karesel farkı ölçen bir metriktir. Düşük MSE değerleri, modelin daha iyi tahminler yaptığını gösterir. MSE, büyük hatalara daha fazla vurgu yapar ve bu nedenle aykırı değerlerin etkisini daha fazla hisseder. RMSE, MSE'nin karekökünü ifade eder. Regresyon modellerinin performansını değerlendirmek için kullanılan bir ölçüm metriği olan RMSE, modelin gerçek değerlerle tahmin ettiği değerler arasındaki hata miktarını ölçer. Bu metrik, modelin tahminlerinin gerçek değerlere olan yakınlığını ifade eder ve hata miktarını bir sayısal değerle temsil eder. RMSE'nin hesaplanması, modelin ne kadar başarılı olduğunu anlamamıza yardımcı olur. RMSE sifra yaklaştıkça hata oranı azalır. Bu çalışmada kullanılan performans ölçüm metrikleri ve matematiksel gösterimleri Tablo 4'te sunulmaktadır.

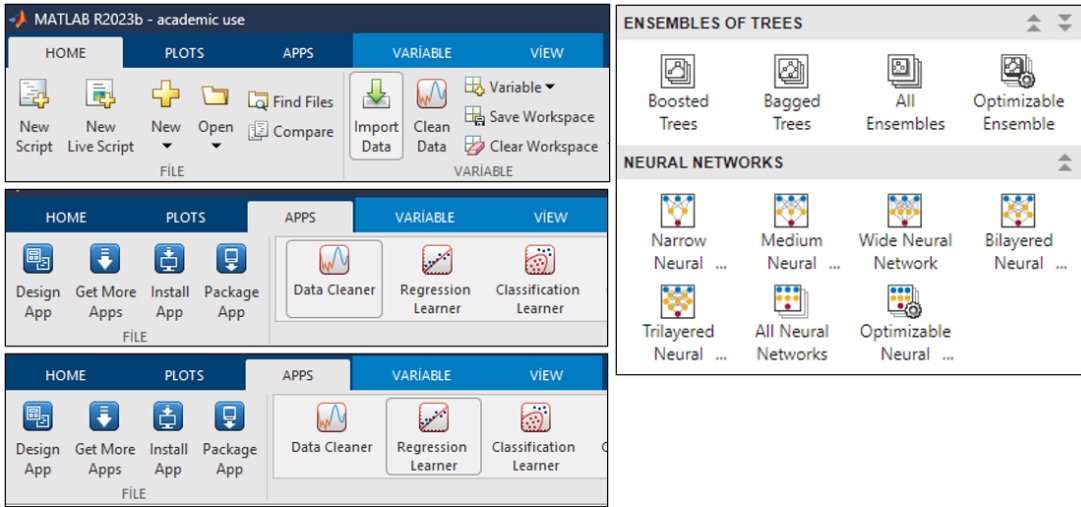
Tüm bu metrikler, İstanbul'daki trafik kaza verilerine dayalı regresyon modellerinin performansını objektif bir şekilde değerlendirmek ve modelin tahmin yeteneklerini anlamak için kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, trafik kaza sürelerini tahmin etmek amacıyla geliştirilen regresyon modellerinin güvenilirliğini değerlendirmede önemli bir rol oynamaktadır.

Tablo 4. Performans ölçüm metrikleri ve matematiksel gösterimleri.

Performans Ölçüm Metrikleri	Matematiksel Gösterim	Açıklama	Referans
R-Kare Belirleme Katsayısı (R^2)	$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}$	n gözlem sayısı, y_i gerçek değerler, \hat{y}_i modelin tahmin ettiği değerler \bar{y}_i gerçek değerlerin ortalaması	(Barrett, 2000; Di Bucchianico, 2008)
Ortalama Kare Hata (MSE)	$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$	n gözlem sayısı, y_i gerçek değerler \hat{y}_i modelin tahmin ettiği değerler	(Hyndman ve Koehler, 2006; Makridakis ve diğerleri, 1982)
Kök Ortalama Kare Hata (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$	n gözlem sayısı, y_i gerçek değerler \hat{y}_i modelin tahmin ettiği değerler	(Hyndman ve Koehler, 2006; Nevitt ve Hancock, 2000)
Ortalama Mutlak Hata (MAE)	$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i - \hat{y}_i $	n gözlem sayısı, y_i gerçek değerler \hat{y}_i modelin tahmin ettiği değerler	(Hyndman ve Koehler, 2006; Sammut ve Webb, 2010)

4. Bulgular

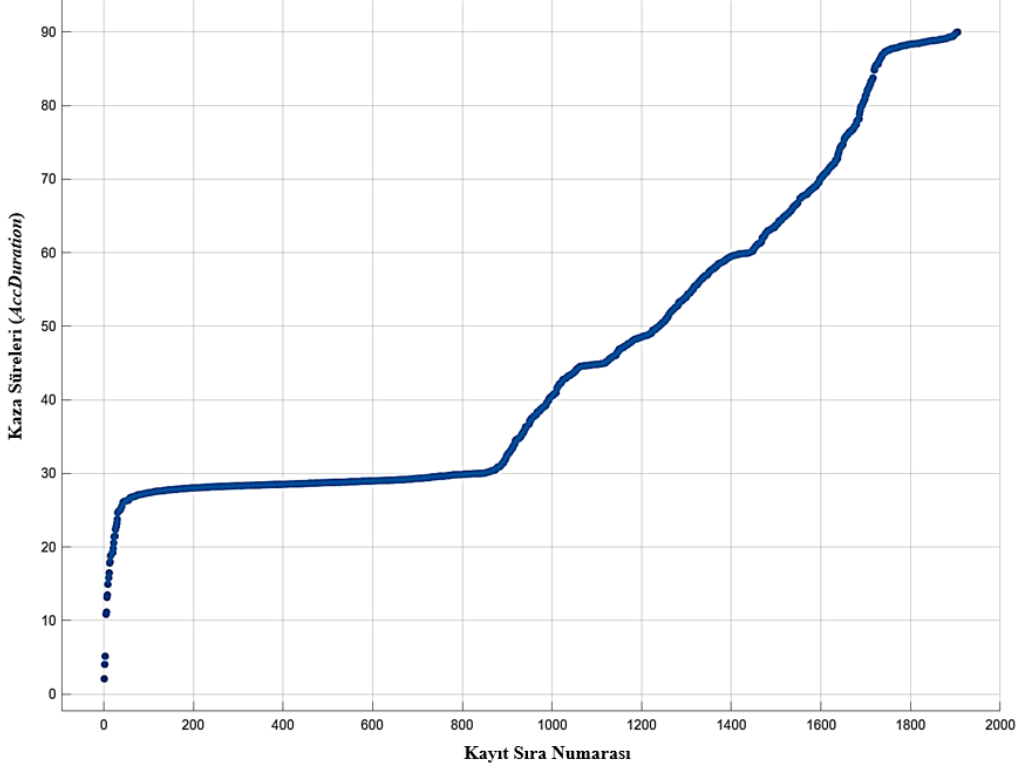
Bulgular bölümünde, uygulanan regresyon temelli ML algoritmalarının performans sonuçlarına odaklanılmaktadır. ML algoritmalarının eğitim ve test süreçlerinde MATLAB R2023b kullanılmıştır. MATLAB, veri analizi ve ML uygulamalarında yaygın olarak tercih edilen bir araçtır ve bu araştırma kapsamında elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde temel bir rol oynamıştır. Bu araştırma kapsamında MATLAB R2023b içerisinde kullanılan araç kutularına ait görseller Şekil 9'da sunulmaktadır.

**Şekil 9.** MATLAB R2023b içerisinde kullanılan araçlar.

Bu bölümde sunulan performans sonuçları, trafik kaza sürelerini tahmin etme amacıyla geliştirilen modellerin etkinliği, doğruluğu ve güvenilirliği hakkında detaylı bir perspektif sağlamaktadır. Elde edilen bulgular, bu modellerin pratik uygulamalarda ne kadar başarılı olabileceği konusunda önemli bir temel oluşturacaktır. Bu araştırma kapsamında kullanılan nihai veri setine ait trafik kaza sürelerini gösteren grafik Şekil 10'da sunulmaktadır.

4.1. Eğitim ve Test Veri Seti Dağılımları

Bu bölümde, uygulanan ML algoritmalarının eğitim ve test süreçlerinde kullanılan veri setlerinin sayıları ve oranları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, başarımların değerlendirilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu araştırma kapsamında kullanılan nihai veri seti %80 oranında eğitim ve %20 oranında test seti olmak üzere ayrılmıştır. ML algoritmaları için kullanılan eğitim ve test veri seti sayıları ile oranları Tablo 5'te sunulmaktadır. Bu tabloda, her iki regresyon algoritmasının öğrenme sürecinde ne kadar veriye dayandığı ve bu verilerin hangi oranda test edildiği gösterilmektedir.



Şekil 10. Nihai veri setine göre gerçekleşen kaza sürelerinin dağılımı.

Tablo 5. Eğitim ve test veri seti örneklem sayıları ve oranları.

Set Türü	Kaza Örneklem Sayısı	Oran
Eğitim Seti	1.524	%80
Test Seti	381	%20
Toplam	1.905	%100

4.2. Model ve Performans Optimizasyonu

Regresyon modelleme süreçleri, kullanılan algoritmanın temel yapılandırma ayarlarından başlayarak, modelin genel performansını artırmaya yönelik gerçekleştirilen optimizasyon adımlarıyla devam etmiştir. Bu aşama, her bir regresyon algoritmasının en iyi performansı elde etmek üzere ayarlandığı kritik bir aşamadır. Regresyon temelli ML algoritmaları ve modellerinin performans optimizasyonu için K-Katlı Çapraz Doğrulama Yöntemi, PCA, FS ve Optimize Edici olmak üzere farklı analizler bulunmaktadır.

4.2.1. K-Katlı Çapraz Doğrulama Yöntemi

Geliştirilen bir tahmin modelinin doğruluğunu artırmak için çeşitli tekniklerin uygulanabilmektedir. Bu tekniklerden biri olan k-katlı çapraz doğrulama yöntemi (k-fold cross validation), modelin performansının güvenilir bir şekilde değerlendirilebilmesi için önemli bir araçtır. Bu araştırma kapsamında 5-katlamalı çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. 5-katlamalı çapraz doğrulama, veri setinin beş eşit parçaya ayrılmasını içeren bir tekniktir. Bu parçalardan biri test veri seti olarak kullanılırken, geriye kalan dört parça eğitim veri seti olarak kullanılır. Ardından, model eğitilir ve test edilir ve bu işlem beş kez tekrarlanır, her seferinde farklı bir parça test veri seti olarak seçilir. Her bir test işlemi sonucunda elde edilen performans ölçümleri ortalaması alınarak modelin genel performansı hesaplanır. Bu yöntemin temel avantajlarından biri, veri setinin tamamının eğitim ve test için kullanılmasını sağlamasıdır. Bu, modelin farklı veri kesitlerine karşı ne kadar iyi performans gösterdiğini daha güvenilir bir şekilde değerlendirmemizi sağlar. Ayrıca, veri setinin her parçasının hem eğitim hem de test amaçlı kullanılması, modelin aşırı öğrenme riskini de azaltır.

4.2.2. Temel Bileşenler Analizi

Regresyon modellemelerinde PCA, kullanılan değişkenlerin model üzerindeki etkisini anlamak adına önemli bir adımdır. Gerçekleştirilen tahmin modeli denemeleri neticesinde, PCA analizinin tahmin performansını yaklaşık %5-10 oranında olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Bu nedenle kullanılan her iki regresyon temelli ML algoritmalarında PCA analizi gerçekleştirilmiştir. PCA sonuçlarına odaklanarak, regresyon modellerinin hangi değişkenler üzerinde yoğunlaştığı ve bu değişkenlerin tahmin gücünün ne olduğu görülebilmektedir. PCA, en az %95 oranında varyansı açıklayacak düzeyde uygulanmıştır. Araştırma kapsamında kullanılan nihai veri seti içerisinde yeterli düzeyde nümerik tahmin edici bulunmaktadır. Dolayısıyla, PCA %95 varyansı açıklamak için yeterli bileşeni tutmaktadır. Veri setinde bulunan 28 kategorik öngörücünün (predictors) tamamı PCA uygulanmadan modelde kullanılmıştır. Kategorik değişkenlere PCA uygulanmamaktadır.

4.2.3. Özellik Seçimi

Her bir regresyon modelleme yönteminde, kullanılan özelliklerin seçimi üzerine özel bir vurgu yapılmıştır. FS adımları, modelin karmaşıklığını azaltmak, aşırı öğrenmeyi önlemek ve tahmin gücünü artırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tahmin modeli denemeleri neticesinde, FS analizlerinin tahmin performansını yaklaşık %3-5 oranında etkilediği gözlemlenmiştir. Regresyon temelli algoritmaların tamamında kullanılan FS analizi kapsamında seçilen değişkenler, gerçekleştirilen testler ve değişkenlerin skorları Tablo 6'da sunulmaktadır. Araştırma kapsamında uygulanan regresyon algoritmaları için FS analizinde F Test skorları kullanılmıştır ve buna göre sıfırdan büyük skora sahip olan 46 farklı değişken, modellerin eğitiminde ve testinde kullanılmak üzere belirlenmiştir.

Tablo 6. Özellik seçimi analizi kapsamında gerçekleştirilen test skorları.

F Test		MRMR	
Sıra No.	Değişken Adı	Sıra No.	Değişken Adı
1	Otomobil	1	Kazalcesi
2	KazaOlusTuru	2	Otomobil
3	Kazalcesi	3	KazaOlusTuru
4	Kamyonet	4	Kamyonet
5	CarpismaYeri	5	Minibus
6	YolunSinifi	6	ToplamOluSayisi
7	Minibus	7	Motosiklet
8	Motosiklet	8	AraziTasiti
9	ToplamYaraliSayisi	9	Cekici
10	GeoGecit	10	Kamyon
11	HasarGorenUnsur	11	CarpismaYeri
12	OtoKorkuluk	12	Tanker
13	Kamyon	13	MotorluBisiklet
14	TrafikLambasi	14	DigerArac
15	TrafikIsaretLevhasi	15	HasarGorenUnsur
16	AraziTasiti	16	GeoGecit
17	GeoYatay	17	YolunYuzeyi
18	DigerArac	18	ToplamYaraliSayisi
19	YolGenisligi	19	GeoYatay
20	GeoKavsak	20	IsMakinesi
21	YolunYuzeyi	21	GeoKavsak
22	ToplamOluSayisi	22	Otobus
23	YoldaCalisma	23	YolunSinifi
24	TrafikGorevlisi	24	Tramvay
25	IsMakinesi	25	Bisiket
26	YayaYolu	26	TrafikIsaretLevhasi

Tablo 6. Devamı.

27 EmniyetSeritiBanket	1,6662	27 YolGenisligi	0,0031
28 Cekici	1,3070	28 OtoKorkuluk	0,0027
29 KazaYolKusuru	1,2793	29 TrafikLambasi	0,0023
30 GeoDiger	1,0779	30 HavaDurumu	0,0010
31 Tanker	1,0232	31 OzelAmacli	0,0008
32 HavaDurumu	0,6768	32 YayaYolu	0,0006
33 YolSeritCizgisi	0,5721	33 Ambulans	0,0005
34 MotorluBisiklet	0,5264	34 GeoDusey	0,0004
35 Tramvay	0,5220	35 TrafikGorevlisi	0,0001
36 ilkYardm	0,5070	36 YoldaCalisma	0,0000
37 OzelAmacli	0,4454	37 YolSeritCizgisi	0,0000
38 YolKaplama	0,4228	38 KazaYoIKusuru	0,0000
39 GeoDusey	0,3902	39 Aydinlatma	0,0000
40 GunDurumu	0,2983	40 YolKaplama	0,0000
41 KazaYerlesimYeri	0,1763	41 ilkYardm	0,0000
42 Aydinlatma	0,0629	42 KazaYerlesimYeri	0,0000
43 YolunTipi	0,0207	43 YolunTipi	0,0000
44 Bisiklet	0,0200	44 GeoDiger	0,0000
45 Ambulans	0,0152	45 GunDurumu	0,0000
46 Otobus	0,0016	46 EmniyetSeritiBanket	0,0000
47 GoruseEngelCisim	0,0000	47 GoruseEngelCisim	0,0000
48 AtArabasi	0,0000	48 AtArabasi	0,0000
49 Traktor	0,0000	49 Traktor	0,0000
50 Tren	0,0000	50 Tren	0,0000
51 ElektrikliSkuter	0,0000	51 ElektrikliSkuter	0,0000

4.2.4. Hiperparametreler ve Optimize Edici

Hiperparametreler, modelin geliştiricisi tarafından eğitim öncesinde belirlenen parametrelerdir. Bu parametreler, modelin ilk yapılandırılmasını ve eğitim sürecinin başlangıcındaki ayarlarını ifade eder. Model parametrelerinden farklı olarak, hiperparametreler eğitim aşamasında öğrenilmez. Model parametreleri, eğitim süreci ilerledikçe veriye uyum sağlayabilirken, hiperparametreler sabit kalır ve modelin temel yapılandırmasını belirler. Regresyon temelli bazı algoritmalarda hiperparametreler kullanılabilir ve farklı ayarlamalar yapılarak modellerin tahmin gücü artırılabilir. Bu çalışmada uygulanan modellere ait hiperparametre özellikleri ilgili model başlığının altında sunulmaktadır. Diğer yandan, optimize seçenekleri yalnızca optimize edilebilir modeller için geçerlidir. Bu çalışmada uygulanan her iki regresyon temelli ML algoritmalarında da optimize edici (optimizer) kullanılmamıştır.

4.3. Topluluk Ağacı Model Sonuçları

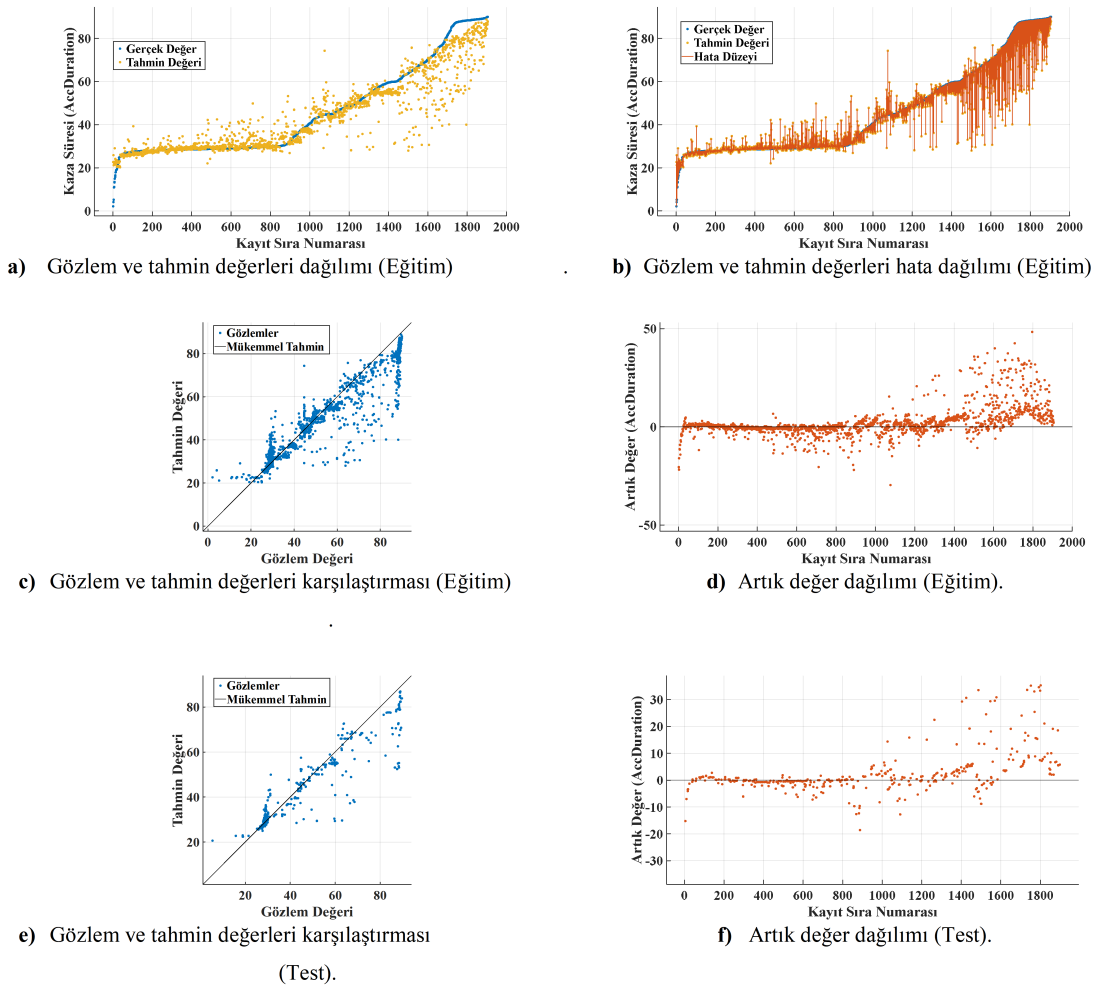
ET modeli, eğitim ve test aşamalarındaki performans sonuçları ile trafik kaza sürelerini tahmin etme yeteneğini yansıtmaktadır. Model, eğitim sürecinde ortalama RMSE: 8.0549 birimlik bir hata payıyla ve R-Kare: 0.85 değeriyle doğrulama veri setine uygunluk sağlamıştır. Test sonuçlarına baktığımızda, modelin gerçek verilere uyum sağlamada devam ettiği görülmektedir. Test veri setinde elde edilen RMSE: 8.1325 birimlik değeri ve R-Kare: 0.84 değeri, modelin genel performansının oldukça etkileyici olduğunu göstermektedir. Diğer yandan, ET modeli önceden ayarlanmış hiperparametrelerle Boosted Trees kullanılarak oluşturulmuştur. Model, minimum 8 yaprak sayısı ile ağaçları güçlendirmek ve genel performansı artırmak amacıyla 30 öğrenciyi (learner) içermektedir. ET modeline ait genel sonuçlar ve detaylar Tablo 7'de gösterilmektedir.

Eğitim süresi 48.307 sn., tahminleme hızı 2800 gözlem/sn. (saniye başına gözlem sayısı — observations per second - obs/sec) olarak hesaplanmış ve eğitim süreci, modelin doğrulama seti üzerindeki performansını optimize etmeye yönelik gerçekleştirilmiştir. Model, eğitim veri setini hızlı bir şekilde öğrenmiş ve sıkça güncellenmiştir. Eğitim sonuçlarına göre diğer performans metrikleri MSE: 64.882 ve MAE: 4.4869 olarak gerçekleşmiştir. Modelin test sonuçları, gerçek dünya verilerine uygulandığında elde edilen başarıyı temsil etmektedir. Test setindeki RMSE: 8.1325 birimlik değeri ve R-Kare:0.84 değeri, modelin tahmin yeteneğinin oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Test sonuçlarına göre diğer performans metrikleri MSE: 66.138 ve MAE: 4.4097 olarak gerçekleşmiştir. Bu performans çıktıları, ET modelinin trafik kaza sürelerini tahmin etme konusundaki başarısını yansıtmaktadır.

Tablo 7. ET model sonuçları.

Model 2.1: ET		
Durum: Test edildi		
Eğitim Sonuçları	Test Sonuçları	Model Hiperparametreleri
RMSE (Eğitim) : 8.0549	RMSE (Test) : 8.1325	Ön Ayar : Boosted Trees
R-Kare (Eğitim) : 0.85	R-Kare (Test) : 0.84	Minimum Yaprak Boyutu : 8
MSE (Eğitim) : 64.882	MSE (Test) : 66.138	Öğrenici Sayısı : 30
MAE (Eğitim) : 4.4869	MAE (Test) : 4.4097	Öğrenme Oranı : 0.1
Tahminleme Hızı : ~2800 gözlem/sn.		Örneklenecek Tahminci Sayısı : Tümüni Seç
Eğitim Süresi : 48.307 sn.		
Model Boyutu (Kompakt) : ~940 KB		

Eğitim ve test sonuçlarına göre gerçek değerler ile tahmin edilen değerler, hata oranı ve artıkların gösterildiği performans grafikleri Şekil 11’de sunulmaktadır.



Şekil 11. ET modeli eğitim ve test performans sonuçlarının görselleştirilmesi.

Şekil 11’de sunulan ve devam eden bölümde de aynı şekilde altı adet grafik olarak sunulacak olan şekillere ait açıklamalar aşağıdaki gibidir:

a. Gözlem ve tahmin değerleri dağılımı (Eğitim): Bu grafik, eğitim veri seti içerisindeki gözlemlenen kaza süresi değerleri ile ilgili ML modelinin tahmin sonuçlarından elde edilen yanıt (response) değerlerinin dağılımını göstermektedir.

b. Gözlem ve tahmin değerleri hata dağılımı (Eğitim): Bu grafik, eğitim veri seti içerisindeki gözlemlenen kaza süresi değerleri ile ilgili ML modelinin tahmin sonuçlarından elde edilen yanıt (response) değerlerinin dağılımını ve bu değerler arasındaki hata düzeylerini göstermektedir.

c. Gözlem ve tahmin değerleri karşılaştırması (Eğitim): Bu grafik, eğitim veri seti içerisindeki gözlemlenen kaza süresi değerlerinin tahmin edilen değerlerle mükemmel tahmin eğrisine (köşegen) göre karşılaştırılmasını göstermektedir.

d. Artık değer dağılımı (Eğitim): Bu grafik, eğitim veri seti içerisindeki gözlemlenen kaza süresi değerleri ile modelin tahmin değerleri arasındaki kaza süresi farkını göstermektedir.

e. Gözlem ve tahmin değerleri karşılaştırması (Test): Bu grafik, test veri seti içerisindeki gözlemlenen kaza süresi değerlerinin tahmin edilen değerlerle mükemmel tahmin eğrisine (köşegen) göre karşılaştırılmasını göstermektedir.

f. Artık değer dağılımı (Test): Bu grafik, test veri seti içerisindeki gözlemlenen kaza süresi değerleri ile modelin tahmin değerleri arasındaki kaza süresi farkını göstermektedir.

4.4. Sinir Ağları Model Sonuçları

NN modelinin eğitim ve test aşamalarındaki performans sonuçları, trafik kaza sürelerini tahmin etme yeteneğini göstermektedir. Model, eğitim sürecinde ortalama RMSE: 9.778 birimlik bir hata payıyla ve R-Kare: 0.78 değeriyle doğrulama veri setine uygunluk sağlamıştır. Test sonuçlarına baktığımızda, modelin gerçek verilere uyum sağlamada devam ettiği görülmektedir. Modelin test sonuçları, gerçek dünya verilerine uygulandığında elde edilen başarıyı temsil etmektedir. Test veri setinde elde edilen RMSE: 7.9798 birimlik değeri ve yüksek R-Kare: 0.85 değeri, modelin genel performansının güçlü olduğunu göstermektedir. Diğer yandan, NN model mimarisi geniş bir yapıya sahiptir. Tam bağlantılı tek bir katman içeren bu model, 100 birimlik ilk katman boyutu ve ReLU aktivasyon fonksiyonu kullanmaktadır. Modelin iterasyon sınırlaması 1000, düzenleme katsayısı (Lambda) ise 0 olarak belirlenmiştir. NN modeline ait genel sonuçlar ve detaylar Tablo 4.4'te gösterilmektedir.

Tablo 8. NN model sonuçları.

Model 2.1: NN		
Durum: Test edildi		
Eğitim Sonuçları	Test Sonuçları	Model Hiperparametreleri
RMSE (Eğitim) : 9.778	RMSE (Test) : 7.9798	Standardizasyon : Evet
R-Kare (Eğitim) : 0.78	R-Kare (Test) : 0.85	İlk Katman Boyutu : 100
MSE (Eğitim) : 95.61	MSE (Test) : 63.677	Aktivasyon : ReLU
MAE (Eğitim) : 6.3111	MAE (Test) : 5.1563	Yineleme Sınırı : 1000
Tahminleme Hızı : ~3200 gözlem/sn.		Tam Bağlı Katman Sayısı : 1
Eğitim Süresi : 486.56 sn.		Ön Ayar : Geniş Sinir Ağları
Model Boyutu (Kompakt) : ~165 KB		Düzenleme Kuvveti (Lambda) : Otomatik

Eğitim süresi 486.56 sn., tahminleme hızı 3200 gözlem/sn. olarak hesaplanmış ve eğitim süreci, modelin doğrulama seti üzerindeki performansını optimize etmeye yönelik gerçekleştirilmiştir. Model, eğitim veri setini hızlı bir şekilde öğrenmiş ve sıkça güncellenmiştir. Eğitim sonuçlarına göre diğer performans metrikleri MSE: 95.61 ve MAE: 6.3111 olarak gerçekleşmiştir. Modelin test sonuçları, gerçek dünya verilerine uygulandığında elde edilen başarıyı temsil etmektedir. Test setindeki RMSE: 7.9798 birimlik değeri ve R-Kare: 0.85 değeri, modelin tahmin yeteneğinin oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Test sonuçlarına göre diğer performans metrikleri MSE: 63.677 ve MAE: 5.1563 olarak gerçekleşmiştir. Bu performans çıktıları, NN modelinin trafik kaza sürelerini tahmin etme konusundaki başarısını yansıtmaktadır. Eğitim ve test sonuçlarına göre gerçek değerler ile tahmin edilen değerler, hata oranı ve artıkların gösterildiği performans grafikleri Şekil 12'de sunulmaktadır.

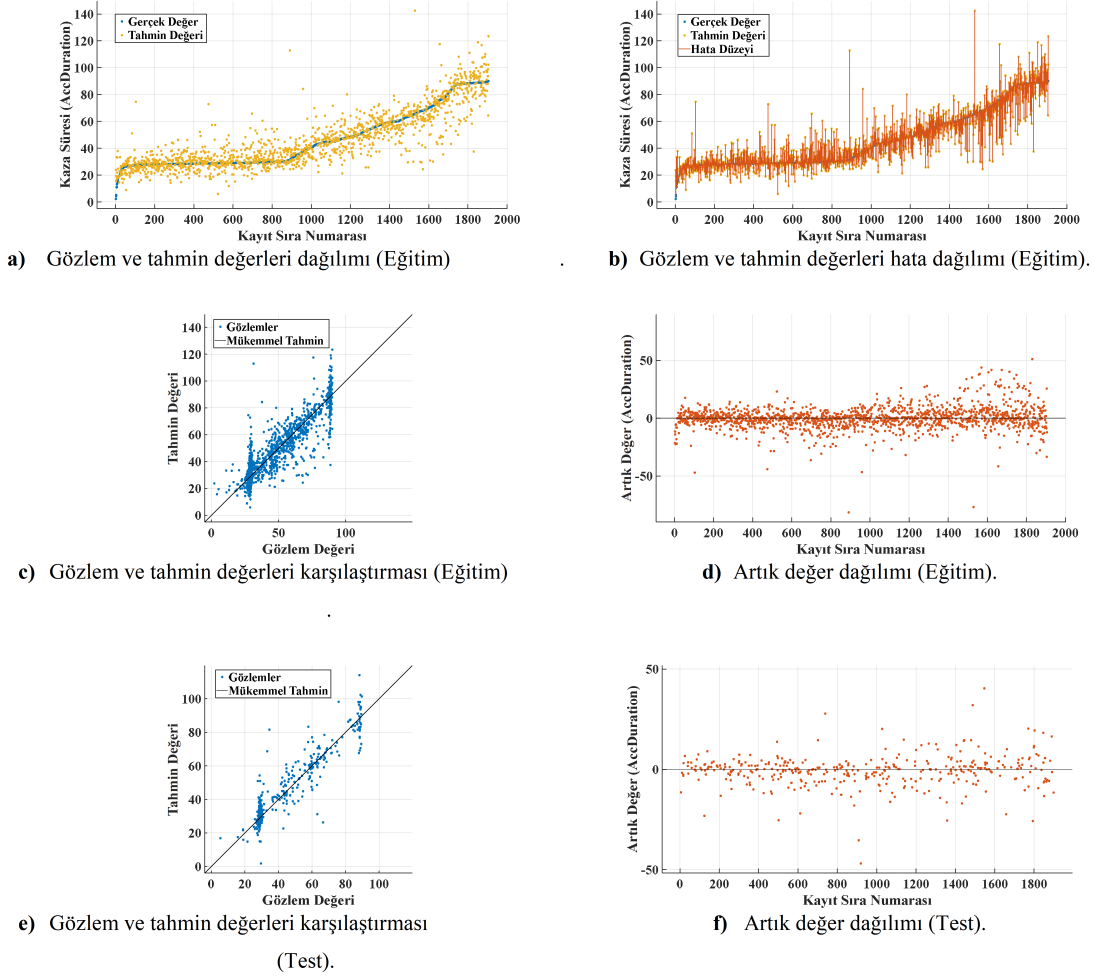
4.5. Model Performans Karşılaştırması

Bu bölümde, ET ve NN regresyon temelli ML algoritmalarının performansları karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada uygulanan algoritmaların eğitim sonuçlarına göre daha başarılı algoritma R-Kare: 0.85 ile ET olurken, test sonuçlarına göre daha başarılı algoritma R-Kare: 0.91 ile NN olmuştur. Karşılaştırmalardan çıkan sonuçlara göre, her bir modelin avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. En iyi model seçimi, belirli bir uygulamanın gereksinimlerine ve veri yapısına bağlı olarak yapılmalıdır.

ET modeli, yüksek performans sergileyerek eğitim setinde RMSE: 8.05 ve MSE: 64.88 ile düşük hata oranlarına ulaşmıştır. Eğitim sonuçlarına göre R-Kare: 0.85 değeri ile daha başarılı tahmin modeli ET olmuştur. Test setindeki RMSE: 8.13 ve MSE: 66.14 değerleri, modelin genelleme yeteneğini göstermektedir. R-Kare değerleri, modelin veriyi ne kadar iyi açıkladığını gösterir. Eğitim setindeki R-Kare: 0.85 ve test setindeki R-Kare: 0.84 değerleri, modelin doğru tahminler yaptığını göstermektedir.

NN modeli, eğitim setindeki RMSE: 10.23 ve MSE: 104.70 ile uygun bir performans sergilemiştir. Test setindeki RMSE: 6.03 ve MSE: 36.40 değerleri, modelin gerçek dünya verilerine nasıl tepki verdiğini gösterir. Test sonuçlarına göre R-Kare: 0.91 değeri ile daha başarılı tahmin modeli NN olmuştur. R-Kare değerleri, modelin veriyi ne kadar iyi açıkladığını gösterir. Eğitim setindeki R-Kare: 0.76 ve test setindeki R-Kare: 0.91 değerleri, modelin doğru tahminler yaptığını göstermektedir.

Bu değerlendirme sonuçlarına göre, farklı performans metrikleri kullanılarak elde edilen sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır. Eğitim sonuçlarına göre ET algoritmasının daha düşük RMSE, MSE ve daha yüksek R-Kare değerlerine sahip olduğu görülmektedir, bu da bu modelin daha iyi bir öğrenme ve tahmin yapma yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir. Test sonuçlarına göre ise NN



Şekil 12. NN modeli eğitim ve test performans sonuçlarının görselleştirilmesi.

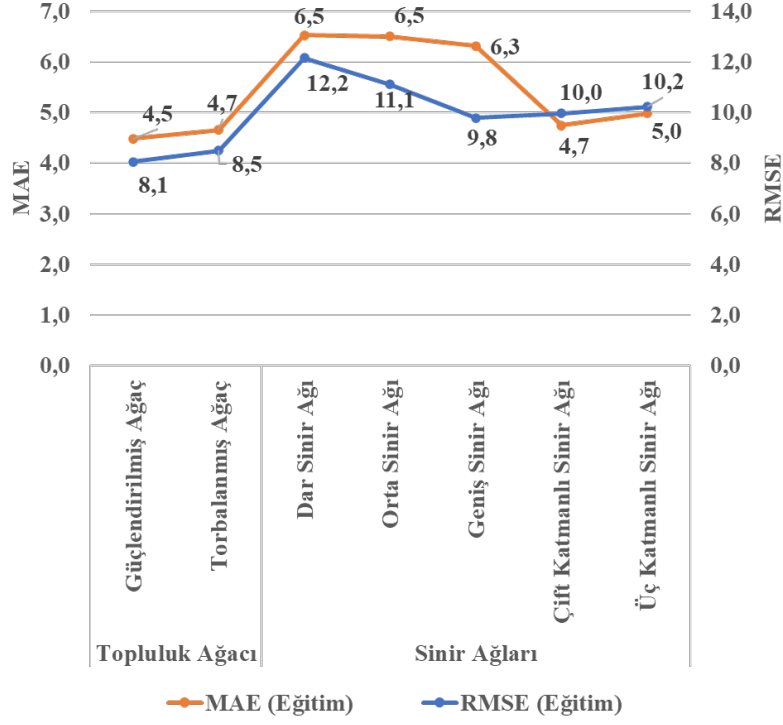
algoritmasının daha düşük RMSE, MSE ve daha yüksek R-Kare değerlerine sahip olduğu görülmektedir, bu da bu modelin gerçek dünya verilerine göre daha yüksek bir tahmin gücüne sahip olduğunu göstermektedir. Ancak, her bir modelin farklı uygulama ve problem bağlamında çeşitli avantajları ve dezavantajları olabileceği unutulmamalıdır. Regresyon temelli her iki ML algoritmasının da karşılaştırmalı eğitim ve test sonuçları Tablo 9'da sunulmaktadır.

Tablo 9. Tüm modellerin karşılaştırmalı eğitim ve test sonuçları.

Model Kategorisi	Model Tipi	RMSE (Eğitim)	MSE (Eğitim)	R-Kare (Eğitim)	MAE (Eğitim)	MAE (Test)	MSE (Test)	RMSE (Test)	R-Kare (Test)	Eğitim Süresi (gözlem/sn.)
ET	Güçlendirilmiş Ağaç	8,0549	64,8820	0,8517	4,4869	4,4097	66,1380	8,1325	0,8418	2800
	Torbalanmış Ağaç	8,4863	72,0170	0,8354	4,6533	4,3278	69,1320	8,3145	0,8347	2200
NN	Dar Sinir Ağı	12,1520	147,6700	0,6625	6,5236	7,1062	87,0470	9,3299	0,7918	4000
	Orta Sinir Ağı	11,1030	123,2700	0,7183	6,5034	5,7172	82,5370	9,0850	0,8026	4100
	Geniş Sinir Ağı	9,7780	95,6100	0,7815	6,3111	5,1563	63,6770	7,9798	0,8477	3200
	Çift Katmanlı Sinir Ağı	9,9638	99,2780	0,7731	4,7465	3,1859	36,4590	6,0381	0,9128	4600
	Üç Katmanlı Sinir Ağı	10,2320	104,7000	0,7607	4,9801	3,3531	36,4060	6,0337	0,9129	3200

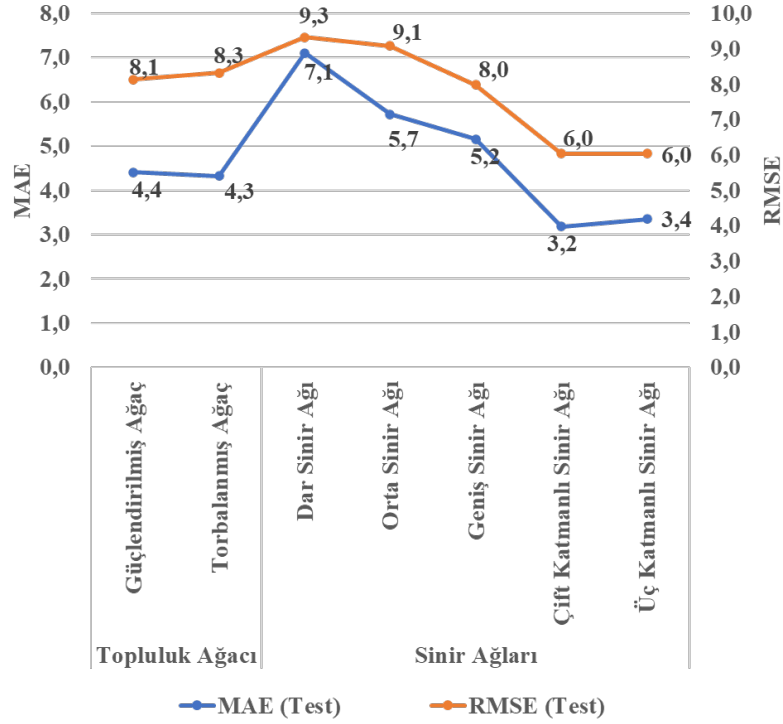
Her iki ML modeline ait performans metriklerinin karşılaştırıldığı bazı grafikler sonraki bölümde sunulmaktadır. Şekil 13, her bir ML modelinin eğitim sürecinde elde ettiği performans sonuçlarını göstermektedir. Modeller arasında karşılaştırma yapabilmek adına kullanılan metrikler arasında RMSE ve MAE bulunmaktadır. Her bir modelin eğitim performansındaki değişim ve başarılar, grafik üzerinde belirli renkler ve sembollerle temsil edilmiştir. Bu grafik, her bir modelin eğitim sürecinde ne kadar başarılı olduğunu göstererek, model performanslarının görsel bir karşılaştırmasını sağlamaktadır.

Şekil 14, her bir ML modelinin test sürecinde elde ettiği performans sonuçlarını göstermektedir. Modeller arasında karşılaştırma yapabilmek adına kullanılan metrikler arasında RMSE ve MAE bulunmaktadır. Her bir modelin eğitim performansındaki değişim



Şekil 13. ET ve NN modelleri için eğitim performans karşılaştırma.

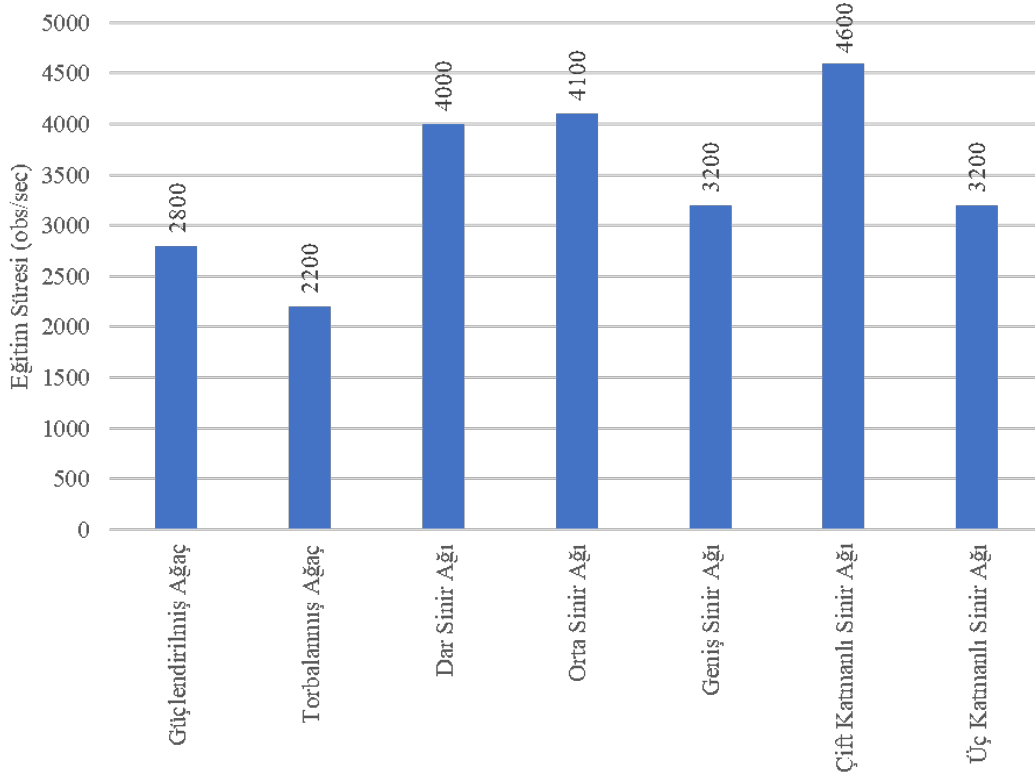
ve başarılar, grafik üzerinde belirli renkler ve sembollerle temsil edilmiştir. Bu grafik, her bir modelin eğitim sürecinde ne kadar başarılı olduğunu göstererek, model performanslarının görsel bir karşılaştırmasını sağlamaktadır.



Şekil 14. ET ve NN modelleri için test performans karşılaştırma.

Şekil 15, her bir ML modelinin eğitim süresini saniye başına gözlem sayısı olarak gözlem/sn. birimi üzerinden göstermektedir. Modellerin eğitim süreleri, belirli bir metrik veya performans ölçüsü üzerinden değerlendirilmiş olup, her bir modelin eğitim süresindeki değişim ve farklılıkların görsel bir karşılaştırmasını sağlar. Bu grafik, her bir modelin eğitim sürelerini farklı sütunlarla

temsil ederek, modeller arasındaki zaman performansındaki varlığı görsel olarak vurgular. Modellerin eğitim süresindeki bu dağılım, her bir algoritmanın hesaplama karmaşıklığı ve veri setine uyum sağlama süreçlerini anlamak adına önemli bir gösterge sunmaktadır.



Şekil 15. Tüm ML modelleri için eğitim süresi dağılımı.

5. Tartışma ve Sonuç

Bu araştırmanın temel amacı İstanbul'daki trafik kaza verilerine dayalı olarak trafik kaza süresini ET ve NN yöntemleri ile tahmin etmek ve bu yöntemlerin performanslarını karşılaştırmaktır. Araştırmanın ikincil amacı ise trafik kaza süresini etkileyen önemli faktörleri belirlemektir. Bu çalışmada İBB ve EGM kaynaklarından elde edilen İstanbul'a ait karayolu trafik kazası veri setleri kullanılmıştır. Elde edilen nihai veri seti, 2013 yılından 2021 yılına kadar olan süreçte İstanbul'da gerçekleşen 1.905 trafik kaza kaydını içermektedir. Bu çalışmada, nihai veri seti veri madenciliği teknikleri ile incelenmiştir. Ayıklanan veri setine istatistik testleri ve ML algoritmalarından olan ET ve NN teknikleri uygulanarak trafik kaza süresi tahmini gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada uygulanan algoritmaların performans ölçümleri için R^2 , MSE, RMSE ve MAE metrikleri kullanılmıştır. ET algoritmasının eğitimde R-Kare: 0.85 ile başarılı bir performans elde ettiği, teste ise R-Kare: 0.91 ile NN algoritmasının daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Literatür çalışmalarında kullanılan MAPE, RMSE, MSE, MAE ve R-Kare performans ölçüm metrikleri, tahmin doğruluğunun analizinde en sık kullanılan metriklerdir. Bu çalışmada da R^2 , MSE, RMSE ve MAE metrikleri kullanılmıştır. MAE, MSE ve RMSE değerleri düştükçe ve R-Kare değeri arttıkça tahmin modeli daha doğru hale gelir, yani gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasında iyi bir uyum sağlanmış olur. Bu çalışmada elde edilen bulgular, önceki çalışmaların bulguları ile kıyaslandığında sonuçların genel olarak başarılı olduğu ve ilerleme kaydedildiği değerlendirilebilmektedir. ML modelleri kullanılan önceki çalışmalarda elde edilen R-Kare değerleri en düşük 0.17 (Bayes ve OLS regresyon) (Wali, Khattak ve Liu, 2022) ile en yüksek 0.94 (ANN) (Ying Lee ve Wei, 2010) olarak gerçekleşmiştir. Bu aralık esas alınır, bu çalışmada elde edilmiş olan en yüksek R-Kare: 0.85 (ET/test seti) ve 0.91 (NN/test seti) değerlerinin literatür ortalamasına göre oldukça başarılı sonuçlar olduğu görülebilmektedir.

Bir tahmin modelinin başarılı olup olmadığını anlamak için tek bir metrik ile değerlendirilmesi doğru olmayacaktır. Bu noktada, önceki çalışmalarda elde edilen diğer önemli bir metrik olan RMSE değerlerine bakıldığında, RF modelini kullanan bir çalışmada gerçekleşen ve aynı zamanda literatürdeki en düşük RMSE değeri 5.50 dakika (Lin ve Li, 2020) olarak gerçekleşmiştir. Dolayısıyla, bu çalışmada gerçekleşen ve veri setindeki kayıtlara ait kaza süresinin uzun olmaları da dikkate alınarak RMSE: 8.31 (RF/test seti) sonucunun kabul edilebilir bir başarı yakaladığı değerlendirilmektedir. Bir başka geçmiş çalışmada HBDM modeli kullanılarak

gerçekleşen ve aynı zamanda literatürdeki en yüksek RMSE değerinin 205 dakika (Zhang, Liu, Li ve Khattak, 2021) olduğu da göz ardı edilmemelidir. RMSE değerlerindeki bu farklılığın ve geniş aralığın temel sebebi kullanılan veri setindeki konumsal, çevresel ve zamansal farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Diğer taraftan, NN kullanarak RMSE 6.05 değerini elde eden bir çalışmaya (Lin ve Li, 2020) göre bu çalışmada gerçekleşen RMSE: 6.03 (NN/test seti) sonucunun literatüre paralel bir şekilde başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Diğer bir performans ölçüm metriği olan MAE açısından karşılaştırma yapılırsa, M5P karar ağacı modelini kullanan bir çalışmanın model sonucuna göre gerçekleşen ve aynı zamanda literatürdeki en yüksek MAE değeri 34.01 dakika (Zhan ve diğerleri, 2011) olarak gerçekleşmiştir. Diğer taraftan, önceki çalışmalarda Bayes Model Ortalaması (BMA) modelini kullanan bir çalışmanın tahmin modeli sonucuna göre gerçekleşen ve aynı zamanda literatürdeki en düşük MAE değeri 5.968 dakika (Zou ve diğerleri, 2021) olmuştur. Bu aralık esas alındığında, bu çalışmada elde edilen tahmin modeli sonuçlarına göre en düşük MAE:3.18 dakika (NN/test seti) değeri, kullanılan regresyon temelli ML modellerinin tahmin gücünün başarısını bir kez daha ortaya koymaktadır.

Bu araştırmanın ikincil hedefi, trafik kaza süresini etkileyen önemli etki faktörlerin belirlenmesidir. Bu doğrultuda, uygulanan F Testi ve PCA analizi sonucunda kaza süresini etkileyen en önemli etki faktörleri ve açıklanan varyans oranları şöyledir: Otomobil %51.5, KazaOlusTuru %27.0, Kazalcesi %8.7, Kamyonet %4.9, CarpismaYeri %2.1, YolunSinifi %1.6, Minibus %1.3, Motosiklet %0.9, ToplamYaraliSayisi %0.6 ve GeoGecit %0.4. Bu sonuçlara göre genel olarak etki faktörleri önceki çalışmalarda belirlenen etki faktörleri ile benzerlik göstermektedir. Fakat, bu çalışmaya göre etki faktörleri arasında bulunan GeoGecit, önceki çalışmalarda rastlanılmayan bir etki faktörü olarak öne çıkmaktadır. GeoGecit kategorik değişkeni şu sınıfları içermektedir: 1-Kontrollü Demiryolu, 2-KontROLSÜZ Demiryolu, 3-Okul Geçidi, 4-Yaya Geçidi ve 5-Geçit Yok. Buna göre, İstanbul'da gerçekleşen trafik kazalarının göz ardı edilemeyecek bir kısmının okul geçidi, yaya geçidi ya da ana arter yollar ve yan yolların kesişiminde bulunan tren ve tramvay hemzemin geçitlerinde yaşandığı sonucuna varılabilmektedir.

Bu araştırma, belirli bir kapsam içinde yürütülmüş olsa da bazı sınırlılıklar ve kısıtlamalar içermektedir. Bu sınırlılıkların başında veri kapsamı gelmektedir. Bu çalışma, 2013-2021 yılları arasındaki İstanbul'da gerçekleşen trafik kazalarına odaklanmaktadır. Bu nedenle, genel bir çerçeveyi temsil etmekten ziyade, sınırlı bir veri kümesi kullanılmıştır. İkinci sınırlılık algoritma seçimidir. Çalışmada kullanılması tercih edilen yöntem regresyon temelli ML olmuştur. Bu yöntemin veya algoritmaların dışındaki diğer potansiyel yöntemlerin incelenmemesi sınırlılık oluşturabilir. Son sınırlılık ise veri seti parametreleridir. Trafik kazalarının analizinde konumsal, zamansal ve çevresel olarak önemli faktörler bulunmaktadır. Ancak, bu çalışmada kullanılan veri setinin sınırlamaları nedeniyle tüm konumsal, zamansal ve çevresel faktörlerin ayrıntılı bir şekilde ele alınması mümkün olmayabilir.

Bu araştırmanın sonuçlarına dayanarak gelecekte bazı potansiyel çalışmaların yürütülebileceği öngörülmektedir. Daha geniş bir coğrafi alan ve uzun bir zaman dilimini kapsayan veri setleri kullanılarak trafik kaza süresi tahmininde daha kapsamlı bir analiz yapılabilir. Araştırmada kullanılan regresyon temelli algoritmaların yanı sıra, sınıflandırma temelli ML algoritmalarının kullanılarak performanslarının karşılaştırıldığı bir çalışma gerçekleştirilebilir. Trafik akışı, trafik yoğunluğu gibi trafikle ilgili faktörlerin modele dahil edilmesi ve detaylı bir şekilde incelenmesi, trafik kaza süresinin tahmininde daha yüksek performans sağlayabilir. Diğer yandan, farklı yapay zekâ yöntemleri ya da derin öğrenme gibi gelişmiş modelleme tekniklerinin kullanılması, daha karmaşık ilişkileri ortaya çıkarabilir ve tahmin yeteneklerini artırabilir. Ayrıca, modelleme sürecine dahil edilmesi zor olan deneyimler, bilgi ve psikolojik nitelikler de dahil olmak üzere farklı sürücülerin çeşitli özelliklerinin tahmin modeline dahil edilmesi önem arz etmektedir. Bu nedenle, trafik kazası süresinin tahmininde rastgelelik, heterojenlik ve zamanla değişen değişkenlerin kontrol edilmesi, gelecekteki potansiyel araştırmalara yön verecektir. Ek olarak, insan faktörlerinin trafik kazalarının olasılığını ve sıklığını artırdığını vurgulamak da önemlidir. Tüm bu potansiyel çalışmalar kapsamındaki öngörüler, bu araştırmanın sınırlılıklarını aşmayı ve trafik kaza süresinin analizi ve tahmini alanındaki bilgiyi daha da genişletmeyi amaçlamaktadır.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Yazar Katkıları: Çalışma Konsepti/Tasarım- H.K.; Veri Toplama- H.K.; Veri Analizi/Yorumlama- H.K., M.A.E., M.A.; Yazı Taslağı- H.K.; İçeriğin Eleştirel İncelemesi- H.K., M.A.E., M.A.; Son Onay ve Sorumluluk- H.K., M.A.E., M.A.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması beyan etmemişlerdir.

Finansal Destek: Yazarlar finansal destek beyan etmemişlerdir.

Not: Makalenin değerlendirme, hakem ve karar süreçlerinde Baş Editör yer almamış, ilgili süreçler Baş Editör Yardımcısı ve yazı kurulu üyesi editörler tarafından yürütülmüştür.

Peer Review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Conception/Design of Study- H.K.; Data Acquisition- H.K.; Data Analysis/ Interpretation- H.K., M.A.E., M.A.; Drafting Manuscript- H.K.; Critical Revision of Manuscript- H.K., M.A.E., M.A.; Final Approval and Accountability- H.K., M.A.E., M.A.

Conflict of Interest: Authors declared no conflict of interest.

Financial Disclosure: Authors declared no financial support.

Note: The Editor-in-Chief was not involved in the evaluation, peer-review and decision processes of the article. These processes were carried out by the Co-Editor-in-Chief and the member editors of the editorial management board.

Yazarların ORCID ID'leri / ORCID IDs of the authors

Hüseyin Korkmaz	0000-0002-2438-6919
Mehmet Ali Ertürk	0000-0002-4030-1110
Mehmet Adak	0000-0002-7788-1227

KAYNAKLAR / REFERENCES

- Adler, M. W., Ommeren, J. Van ve Rietveld, P. (2013). Road congestion and incident duration. *Economics of Transportation*, 2(4), 109-118. doi:10.1016/j.ecotra.2013.12.003
- Alonze, S. (2014). Traffic Congestion to Cost the UK Economy More Than £300 Billion Over the Next 16 Years. *Inrix Press Releases*. 25 Eylül 2021 tarihinde <https://inrix.com/press-releases/traffic-congestion-to-cost-the-uk-economy-more-than-300-billion-over-the-next-16-years/> adresinden erişildi.
- Bai, S., Ji, X., Dai, B., Pu, Y. ve Qin, W. (2022). An Integrated Model for the Geohazard Accident Duration on a Regional Mountain Road Network Using Text Data. *Sustainability (Switzerland)*, 14(19). doi:10.3390/su141912429
- Barrett, G. B. (2000). The Coefficient of Determination: Understanding r squared and R squared. *The Mathematics Teacher*, 93(3), 230-234.
- Boyles, S., Fajardo, D. ve Waller, S. T. (2007). A naive Bayesian classifier for incident duration prediction. *86th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC* içinde .
- Breiman, L. (1996). Bagging predictors. *Machine Learning*, 24(2), 123-140. doi:10.1007/BF00058655
- Chen, J. ve Tao, W. (2022). Traffic accident duration prediction using text mining and ensemble learning on expressways. *Scientific Reports*, 12(1), 21478. doi:10.1038/s41598-022-25988-4
- Chin, S. M., Franzese, O., Greene, D. L., Hwang, H. L. ve Gibson, R. C. (2004). *Temporary Losses of Highway Capacity and Impacts on Performance: Phase 2*. (null, Ed.)null (C. null). <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/37083> adresinden erişildi.
- Cohen, J. (2013). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Routledge.
- Cong, H., Chen, C., Lin, P.-S., Zhang, G., Milton, J. ve Zhi, Y. (2018). Traffic Incident Duration Estimation Based on a Dual-Learning Bayesian Network Model. *Transportation Research Record*, 2672(45), 196-209. doi:10.1177/0361198118796938
- Di Bucchianico, A. (2008). Coefficient of determination (R²). *Encyclopedia of statistics in quality and reliability*.
- Dimitriou, L. ve Vlahogianni, E. I. (2015). Fuzzy modeling of freeway accident duration with rainfall and traffic flow interactions. *Analytic Methods in Accident Research*, 5-6, 59-71. doi:10.1016/j.amar.2015.04.001
- Farrar, D. E. ve Glauber, R. R. (1967). Multicollinearity in Regression Analysis: The Problem Revisited. *The Review of Economics and Statistics*, 49(1), 92. doi:10.2307/1937887
- Fleming, S. (2019). Traffic congestion cost the US economy nearly \$87 billion in 2018. *World Economic Forum*. 25 Eylül 2021 tarihinde <https://www.weforum.org/agenda/2019/03/traffic-congestion-cost-the-us-economy-nearly-87-billion-in-2018/> adresinden erişildi.
- Garrison, D. ve Mannering, F. L. (1990). Assessing the traffic impacts of freeway incidents and driver information. *ITE journal*, 60(8), 19-23. <http://dx.doi.org/> adresinden erişildi.
- Ghosh, B., Asif, M. T., Dauwels, J., Fastenrath, U. ve Guo, H. (2019). Dynamic Prediction of the Incident Duration Using Adaptive Feature Set. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(11), 4019-4031. doi:10.1109/TITS.2018.2878637
- Ghosh, B. ve Dauwels, J. (2022). Comparison of different Bayesian methods for estimating error bars with incident duration prediction. *Journal*

- of *Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations*, 26(4), 420-431. doi:10.1080/15472450.2021.1894936
- Gibbons, J. D. (1997). Nonparametric methods for quantitative analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 48(8), 853.
- Giuliano, G. (1989). Incident characteristics, frequency, and duration on a high volume urban freeway. *Transportation Research Part A: General*, 23(5), 387-396. doi:10.1016/0191-2607(89)90086-1
- Grigorev, A., Mihaita, A.-S., Lee, S. ve Chen, F. (2022). Incident duration prediction using a bi-level machine learning framework with outlier removal and intra-extra joint optimisation. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 141. doi:10.1016/j.trc.2022.103721
- Hamad, K., Al-Ruzouq, R., Zeiada, W., Abu Dabous, S. ve Khalil, M. A. (2020). Predicting incident duration using random forests. *Transportmetrica A: Transport Science*, 16(3), 1269-1293. doi:10.1080/23249935.2020.1733132
- Hamad, K., Khalil, M. A. ve Alozi, A. R. (2020). Predicting Freeway Incident Duration Using Machine Learning. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 18(2), 367-380. doi:10.1007/s13177-019-00205-1
- Hamad, K., Obaid, L., Haridy, S., Zeiada, W. ve Al-Khateeb, G. (2022). Factorial design-machine learning approach for predicting incident durations. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. doi:10.1111/mice.12883
- Hassoun, M. H. (1995). Fundamentals of artificial neural networks. MIT press.
- Howell, D. C. (1992). *Statistical methods for psychology*. PWS-Kent Publishing Co.
- Hyndman, R. J. ve Koehler, A. B. (2006). Another look at measures of forecast accuracy. *International Journal of Forecasting*, 22(4), 679-688. doi:10.1016/j.ijforecast.2006.03.001
- İBB UDB. (2023). İBB Ulaşım Dairesi Başkanlığı, Ulaşım Yönetim Merkezi Trafik Duyuru Verisi. *İBB Açık Veri Portalı*. 29 Aralık 2023 tarihinde <https://data.ibb.gov.tr/dataset/ulasim-yonetim-merkezi-trafik-duyuru-verisi> adresinden erişildi.
- IEA. (2020). *Energy Technology Perspectives Special Report on Clean Energy Innovation*. Paris. <https://www.iea.org/reports/clean-energyinnovation> adresinden erişildi.
- Ishak, S. ve Alecsandru, C. (2004). Optimizing Traffic Prediction Performance of Neural Networks under Various Topological, Input, and Traffic Condition Settings. *Journal of Transportation Engineering*, 130(4), 452-465. doi:10.1061/(ASCE)0733-947X(2004)130:4(452)
- Ji, K. K., Li, Z. Z., Chen, J., Wang, G. Y., Liu, K. L. ve Luo, Y. (2022). Freeway Accident Duration Prediction Based On Social Network Information. *Neural Network World*, 32(2), 93-112. doi:10.14311/NNW.2022.32.006
- Karataş, G. (2021). The Effects of Normalization and Standardization an Internet of Things Attack Detection. *European Journal of Science and Technology*, (29), 187-192. doi:10.31590/ejosat.1017427
- Khattak, A. J., Schofer, J. L. ve Wang, M.-H. (1995). A Simple Time Sequential Procedure For Predicting Freeway Incident Duration. *I V H S Journal*, 2(2), 113-138. doi:10.1080/10248079508903820
- Kim, W. ve Chang, G.-L. (2012). Development of a Hybrid Prediction Model for Freeway Incident Duration: A Case Study in Maryland. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 10(1), 22-33. doi:10.1007/s13177-011-0039-8
- Kuang, L., Yan, H., Zhu, Y., Tu, S. ve Fan, X. (2019). Predicting duration of traffic accidents based on cost-sensitive Bayesian network and weighted K-nearest neighbor. *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations*, 23(2), 161-174. doi:10.1080/15472450.2018.1536978
- Lee, J., Kwak, J., Oh, Y. ve Kim, S. (2022). Quantifying incident impacts and identifying influential features in urban traffic networks. *Transportmetrica B*. doi:10.1080/21680566.2022.2063205
- Lee, J.-Y., Chung, J.-H. ve Son, B. (2009). Incident clearance time analysis for Korean freeways using structural equation model. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies Vol. 7 (The 8th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2009)* içinde (s. 360). Eastern Asia Society for Transportation Studies.
- Lee, Y., Wei, C.-H. ve Chao, K.-C. (2017). Non-parametric machine learning methods for evaluating the effects of traffic accident duration on freeways. *Archives of Transport*, 43(3), 91-104. doi:10.5604/01.3001.0010.4228
- Lee, Ying ve Wei, C.-H. (2010). A computerized feature selection method using genetic algorithms to forecast freeway accident duration times. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 25(2), 132-148. doi:https://doi.org/10.1111/j.1467-8667.2009.00626.x
- Li, Chi-Sen ve Chen, M.-C. (2014). A data mining based approach for travel time prediction in freeway with non-recurrent congestion. *Neurocomputing*, 133, 74-83. doi:10.1016/j.neucom.2013.11.029
- Li, C.-S. ve Chen, M.-C. (2013). Identifying important variables for predicting travel time of freeway with non-recurrent congestion with neural networks. *Neural Computing and Applications*, 23(6), 1611-1629. doi:10.1007/s00521-012-1114-z
- Li, D., Wu, J. ve Peng, D. (2021). Online Traffic Accident Spatial-Temporal Post-Impact Prediction Model on Highways Based on Spiking Neural Networks. *Journal of Advanced Transportation*, 2021. doi:10.1155/2021/9290921
- Li, L., Sheng, X., Du, B., Wang, Y. ve Ran, B. (2020). A deep fusion model based on restricted Boltzmann machines for traffic accident duration prediction. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 93. doi:10.1016/j.engappai.2020.103686
- Lin, P.-W., Zou, N. ve Chang, G.-L. (2004). Integration of a discrete choice model and a rule-based system for estimation of incident duration: a case study in Maryland. *CD-ROM of Proceedings of the 83rd TRB Annual Meeting, Washington, DC* içinde .
- Lin, Y. ve Li, R. (2020). Real-time traffic accidents post-impact prediction: Based on crowdsourcing data. *Accident Analysis and Prevention*, 145. doi:10.1016/j.aap.2020.105696
- Liu, F., Zheng, L., Li, M. ve Tang, J. (2022). Analysis and Prediction of the Interval Duration between the First and Second Accidents considering the Spatiotemporal Threshold. *Journal of Advanced Transportation*, 2022, 1-14. doi:10.1155/2022/6312139
- Ma, X., Ding, C., Luan, S., Wang, Y. ve Wang, Y. (2017). Prioritizing Influential Factors for Freeway Incident Clearance Time Prediction Using the Gradient Boosting Decision Trees Method. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(9), 2303-2310. doi:10.1109/TITS.2016.2635719

- Makridakis, S., Andersen, A., Carbone, R., Fildes, R., Hibon, M., Lewandowski, R., . . . Winkler, R. (1982). The accuracy of extrapolation (time series) methods: Results of a forecasting competition. *Journal of Forecasting*, 1(2), 111-153. doi:10.1002/for.3980010202
- Marshment, B., Dauffenbach, R. ve Penn, D. A. (1996). Short-Range Intercity Traffic Forecasting Using Econometric Techniques.
- Miles, J. ve Banyard, P. (2007). Understanding and using statistics in psychology: A practical introduction.
- Mohammed, Z. A., Abdullah, M. N. ve Al Hussaini, I. H. (2021). Predicting Incident Duration Based on Machine Learning Methods. *Iraqi Journal of Computer, Communication, Control and System Engineering*, 21(1), 1-15. doi:10.33103/uot.ijccce.21.1.1
- Nam, D. ve Mannering, F. (2000). An exploratory hazard-based analysis of highway incident duration. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 34(2), 85-102. doi:10.1016/S0965-8564(98)00065-2
- Nevitt, J. ve Hancock, G. R. (2000). Improving the Root Mean Square Error of Approximation for Nonnormal Conditions in Structural Equation Modeling. *The Journal of Experimental Education*, 68(3), 251-268. doi:10.1080/00220970009600095
- Park, B., Messer, C. J. ve Urbanik, T. (1998). Short-Term Freeway Traffic Volume Forecasting Using Radial Basis Function Neural Network. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1651(1), 39-47. doi:10.3141/1651-06
- Park, H., Haghani, A. ve Zhang, X. (2016). Interpretation of Bayesian neural networks for predicting the duration of detected incidents. *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations*, 20(4), 385-400. doi:10.1080/15472450.2015.1082428
- Pearl, J. (1988). *Probabilistic reasoning in intelligent systems: networks of plausible inference*. Morgan kaufmann.
- Pereira, F. C., Rodrigues, F. ve Ben-Akiva, M. (2013). Text analysis in incident duration prediction. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 37, 177-192. doi:https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.10.002
- Sammut, C. ve Webb, G. I. (2010). Mean absolute error. *Encyclopedia of Machine Learning*, 652.
- Saracoglu, A. ve Ozen, H. (2020). Estimation of Traffic Incident Duration: A Comparative Study of Decision Tree Models. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45(10), 8099-8110. doi:10.1007/s13369-020-04615-2
- Schapire, R. E. (1990). The strength of weak learnability. *Machine Learning*, 5(2), 197-227. doi:10.1007/BF00116037
- Schrank, D., Eisele, B. ve Lomax, T. (2019). Urban mobility report 2019.
- Shang, Q., Tan, D., Gao, S. ve Feng, L. (2019). A Hybrid Method for Traffic Incident Duration Prediction Using BOA-Optimized Random Forest Combined with Neighborhood Components Analysis. *Journal of Advanced Transportation*, 2019. doi:10.1155/2019/4202735
- Shang, Q., Xie, T. ve Yu, Y. (2022). Prediction of Duration of Traffic Incidents by Hybrid Deep Learning Based on Multi-Source Incomplete Data. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(17). doi:10.3390/ijerph191710903
- Sheikh, M. S. ve Regan, A. (2022). A complex network analysis approach for estimation and detection of traffic incidents based on independent component analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 586, 126504. doi:10.1016/j.physa.2021.126504
- Skabardonis, A., Varaiya, P. ve Petty, K. F. (2003). Measuring Recurrent and Nonrecurrent Traffic Congestion. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1856(1), 118-124. doi:10.3141/1856-12
- Snelder, M., Bakri, T. ve van Arem, B. (2013). Delays Caused by Incidents. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2333(1), 1-8. doi:10.3141/2333-01
- Stephanedes, Y. J., Michalopoulos, P. G. ve Plum, R. A. (1981). Improved Estimation of Traffic Flow for Real-Time Control. *Transportation Research Record*, 795, 28-39.
- Tang, J., Zheng, L., Han, C., Liu, F. ve Cai, J. (2020). Traffic Incident Clearance Time Prediction and Influencing Factor Analysis Using Extreme Gradient Boosting Model. *Journal of Advanced Transportation*, 2020. doi:10.1155/2020/6401082
- Tin Kam Ho. (1995). Random decision forests. *Proceedings of 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition* içinde (C. 1, ss. 278-282). Montreal, QC, Canada: IEEE Comput. Soc. Press. doi:10.1109/ICDAR.1995.598994
- Valenti, G., Lelli, M. ve Cucina, D. (2010). A comparative study of models for the incident duration prediction. *European Transport Research Review*, 2(2), 103-111. doi:10.1007/s12544-010-0031-4
- Van Der Voort, M., Dougherty, M. ve Watson, S. (1996). Combining kohonen maps with arima time series models to forecast traffic flow. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 4(5), 307-318. doi:https://doi.org/10.1016/S0968-090X(97)82903-8
- van Lint, J. W. C., Hoogendoorn, S. P. ve van Zuylen, H. J. (2002). Freeway Travel Time Prediction with State-Space Neural Networks: Modeling State-Space Dynamics with Recurrent Neural Networks. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1811(1), 30-39. doi:10.3141/1811-04
- Vlahogianni, E. I. ve Karlaftis, M. G. (2013). Fuzzy-entropy neural network freeway incident duration modeling with single and competing uncertainties. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 28(6), 420-433. doi:10.1111/mice.12010
- Wali, B., Khattak, A. J. ve Liu, J. (2022). Heterogeneity assessment in incident duration modelling: Implications for development of practical strategies for small & large scale incidents. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 26(5), 586-601. doi:10.1080/15472450.2021.1944135
- Wang, S., Li, R. ve Guo, M. (2018). Application of nonparametric regression in predicting traffic incident duration. *Transport*, 33(1), 22-31. doi:10.3846/16484142.2015.1004104
- Williams, B. M., Durvasula, P. K. ve Brown, D. E. (1998). Urban Freeway Traffic Flow Prediction: Application of Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average and Exponential Smoothing Models. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1644(1), 132-141. doi:10.3141/1644-14
- Won, M. (2020). *Outlier Analysis to Improve the Performance of an Incident Duration Estimation and Incident Management System*. *Transportation Research Record* (C. 2674). doi:10.1177/0361198120916472
- Won, M., Kim, H. ve Chang, G.-L. (2018). *Knowledge-based system for estimating incident clearance duration for Maryland I-95*. *Transportation Research Record* (C. 2672). doi:10.1177/0361198118792119
- Xiao, H., Sun, H., Ran, B. ve Oh, Y. (2003). Fuzzy-Neural Network Traffic Prediction Framework with Wavelet Decomposition. *Transportation*

- Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1836(1), 16-20. doi:10.3141/1836-03
- Yu, B., Wang, Y. T., Yao, J. B. ve Wang, J. Y. (2016). A comparison of the performance of ANN and SVM for the prediction of traffic accident duration. *Neural Network World*, 26(3), 271-287. doi:10.14311/NNW.2016.26.015
- Zhan, C., Gan, A. ve Hadi, M. (2011). Prediction of Lane Clearance Time of Freeway Incidents Using the M5P Tree Algorithm. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 12(4), 1549-1557. doi:10.1109/TITS.2011.2161634
- Zhang, H., Zhang, Y. ve Khattak, A. J. (2012). Analysis of Large-Scale Incidents on Urban Freeways. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2278(1), 74-84. doi:10.3141/2278-09
- Zhang, Z., Liu, J., Li, X. ve Khattak, A. J. (2021). Do Larger Sample Sizes Increase the Reliability of Traffic Incident Duration Models? A Case Study of East Tennessee Incidents. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2675(6), 265-280. doi:10.1177/0361198121992063
- Zhao, H., Gunardi, W., Liu, Y., Kiew, C., Teng, T.-H. ve Yang, X. B. (2022). Prediction of Traffic Incident Duration Using Clustering-Based Ensemble Learning Method. *Journal of Transportation Engineering Part A: Systems*, 148(7). doi:10.1061/JTEPBS.0000688
- Zhao, Y. ve Deng, W. (2022). Prediction in Traffic Accident Duration Based on Heterogeneous Ensemble Learning. *Applied Artificial Intelligence*, 36(1). doi:10.1080/08839514.2021.2018643
- Zhu, W., Wu, J., Fu, T., Wang, J., Zhang, J. ve Shangguan, Q. (2021). Dynamic prediction of traffic incident duration on urban expressways: a deep learning approach based on LSTM and MLP. *Journal of Intelligent and Connected Vehicles*, 4(2), 80-91. doi:10.1108/JICV-03-2021-0004
- Zong, F., Zhang, H. Y., Xu, H. G., Zhu, X. M. ve Wang, L. (2013). Predicting Severity and Duration of Road Traffic Accident. *MATHEMATICAL PROBLEMS IN ENGINEERING*, 2013. doi:10.1155/2013/547904 WE - Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)
- Zou, Y., Lin, B., Yang, X., Wu, L., Muneeb Abid, M. ve Tang, J. (2021). Application of the Bayesian Model Averaging in Analyzing Freeway Traffic Incident Clearance Time for Emergency Management. *Journal of Advanced Transportation*, 2021. doi:10.1155/2021/6671983

Atf Biçimi / How cite this article

Korkmaz, H., Ertürk, M.A., & Adak M. (2024). A comparison of the performance of ensemble tree and neural networks for the prediction of traffic accident duration. *Journal of Transportation and Logistics*, 9(1), 20-47. <https://doi.org/10.26650/JTL.2024.1444128>

Mathematical Modelling Approaches for Integrated Single Machine Scheduling and Electric Vehicle Routing Problem

İclal Bağcı¹ , Hande Öztöp² , Zeynel Abidin Çil^{3,4} 

¹İzmir Democracy University, Department of Industrial Engineering, İzmir, Türkiye

²(Dr.), İzmir Democracy University, Department of Industrial Engineering, İzmir, Türkiye

³(Doç. Dr.), İzmir Democracy University, Department of Industrial Engineering, İzmir, Türkiye

⁴(Doç. Dr.), University of Leicester, School of Engineering, Leicester, UK

ABSTRACT

In recent years, increasing CO₂ emissions and resource utilization has adversely affected the environment. Sustainability efforts have been initiated to decrease these effects, including environmentally friendly electric vehicles in vehicle fleets used for transportation. The electric vehicle routing problem (EVRP) has emerged in the literature, and numerous studies have been conducted, considering specific constraints related to electric vehicles. Due to various charging feature constraints, EVRP diverges from the classical vehicle routing problem (VRP) and becomes more complex. In addition to the load capacity constraints of classical VRP, electric vehicles must deliver products to customers via an optimal vehicle route while considering battery capacity limitations. This study addresses the integrated single-machine scheduling and electric vehicle routing problem. After scheduling and processing customer product requests on a single machine, electric vehicle routes must be created to deliver these products to customers. To meet customer expectations, the objective function of the problem aims to minimize the costs associated with customer product delivery delays. Two mathematical models, i.e., mixed-integer linear programming (MILP) and constraint programming (CP) models, are presented to solve this problem. The results and performances of these models are compared on a set of instances. Numerical results indicate that the CP model has superior performance than the MILP model for the problem.

Keywords: Electric vehicle routing, single machine scheduling, mixed-integer linear programming, constraint programming, integrated scheduling and routing

1. Introduction

In recent years, increasing resource consumption, CO₂, and greenhouse gas emissions have led to serious problems such as environmental pollution and global warming. Efforts to reduce and prevent these environmental damages aim to promote sustainability practices and reduce carbon footprints. Due to the harm caused by traditional vehicles that consume fossil fuel, sustainability initiatives are being implemented to change the vehicle fleets used in the transportation sector. In place of traditional vehicles causing air pollution, and high fossil fuel consumption, environmentally friendly electric vehicles with very low emissions have started to be included in vehicle fleets. Due to their low energy consumption, the trend towards electric vehicles is expected to increase even further in the near future.

Electric vehicles have some structural and technical characteristics that differentiate them from traditional vehicles; thus, their routing decisions also vary. The electric vehicle routing problem (EVRP) has battery capacity constraints besides the load capacity constraints observed in the classical vehicle routing problem (VRP). Thus, electric vehicles have to frequent battery charging locations along their route for battery charging, making electric vehicle routing decisions more challenging and complex than the classical vehicle routing decisions.

In the considered problem in this study, products requested by customers are scheduled on a single machine in the desired quantity. After processing the customer requests on a single machine, it is necessary to distribute them to customers using electric vehicles. Thus, in this study, the integrated single-machine scheduling and electric vehicle routing problem (SM-EVRP) is addressed. The objective function of the studied problem aims to minimize the costs associated with delays in customer product delivery to meet customer expectations. To address this integrated problem, a Mixed-Integer Linear Programming (MILP) model

Corresponding Author: Zeynel Abidin Çil E-mail: zabidin.cil@idu.edu.tr, zac7@leicester.ac.uk

Submitted: 04.01.2024 • Revision Requested: 15.02.2024 • Last Revision Received: 15.03.2024 • Accepted: 15.03.2024 • Published Online: 16.04.2024



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

and a Constraint Programming (CP) model have been developed. The developed mathematical models are tested on various-sized instances and their solutions are compared to assess the performance of the mathematical models.

In the literature, single-machine scheduling problems have been extensively addressed for many years, enriched with various constraints and objective functions. Koulamas (2010) presented a literature review for the single-machine scheduling problem (SMSP) with total tardiness criterion. When the studies on the SMSP with tardiness objective are examined; it is seen that various exact and heuristic solution methods have been presented for addressing this problem. Tanaka and Araki (2013) studied the SMSP with sequence-dependent setup times (SDST) that minimized total weighted tardiness for jobs, which was solved using a dynamic programming-based algorithm. Similarly, Luo and Chu (2006) studied the SMSP with SDST to minimize total tardiness and proposed the branch-bound algorithm to solve the problem. Ozcelik et al. (2022) studied the SMSP with stochastic SDST, where the objective of the problem is to minimize the total expected setup, earliness, and tardiness costs. Liao and Juan (2007) studied the SMSP with SDST. The problem aims to minimize total weighted delay, and an ant colony algorithm was proposed for the problem.

The demand for electric vehicles has steadily increased given the increasing importance of sustainability efforts in today's world. In this line, the EVRP has emerged in the literature. Numerous studies have been conducted on the routing of electric vehicles with various charging characteristics. In the study conducted by Kucukoglu et al. (2021), a detailed literature review is presented for EVRP. As seen from the literature review of Kucukoglu et al. (2021), the EVRP with a single depot has been extensively examined in the literature regarding various constraints. For instance, Keskin and Çatay (2016) studied the EVRP with time windows and a single depot to minimize the total distance. The authors proposed an adaptive large neighborhood search algorithm for solving the problem. Küçüköğlü and Öztürk (2016) studied the EVRP with a heterogeneous fleet located at a single depot and proposed a mixed-integer mathematical model to minimize the route lengths of electric vehicles. Bruglieri et al. (2015) studied the EVRP with time windows and a single depot and proposed a mixed-integer mathematical model and variable neighborhood search branching to solve the problem. Schneider et al. (2014) studied the EVRP with time windows and a single depot. They proposed a mixed-integer programming model and a hybrid heuristic algorithm using a tabu search and a variable neighborhood search. Felipe et al. (2014) also studied the EVRP with multiple charging technologies and partial recharges. The authors proposed a simulated annealing framework and local search techniques for solving the problem.

Studies integrating machine scheduling problems and VRP have become widespread in the literature, especially in recent years. In the studies by Berghman et al. (2023) and Moons et al. (2017), a literature review has been conducted on integrated scheduling and VRP. As seen from these literature reviews, there are studies on integrated single-machine scheduling and VRP without considering electric vehicles. He et al. (2022) studied integrated SMSP and VRP and presented a mixed integer programming model. The objective of the problem is to minimize the weighted sum of delivery times of customers as well as distribution costs. The authors proposed an enhanced branch-and-price algorithm for solving the problem. Long et al. (2022) studied integrated SMSP and VRP. A multi-objective optimization model has been considered to minimize the total holding, distribution, and tardiness costs. The authors proposed a level-based multi-objective particle swarm algorithm to solve the problem. Wang et al. (2019) addressed the integrated SMSP and VRP with heterogeneous vehicles to minimize the total cost and carbon emissions and proposed a tabu search algorithm to address the problem. Jamily et al. (2016) studied the integrated SMSP and VRP and presented an integer linear programming model. The objective of the problem is to minimize the average delivery time and total distribution cost. The authors proposed a tabu search metaheuristic and local search algorithm to solve the problem. Li et al. (2016) presented an integer programming model for the integrated SMSP and VRP. The problem aims to minimize delivery costs and waiting time of customers. They proposed a non-dominated genetic algorithm with elite strategy for solving the problem. Low et al. (2014) also studied the integrated SMSP and VRP and presented an adaptive genetic algorithm. However, to the best of the authors' knowledge, no study integrates single-machine scheduling with EVRP in the literature.

The VRP has been studied for years in the literature. Various variants have led to the development of not only MILP models but also CP models. Öztop, Kizilay, and Çil (2021) studied periodic VRP with time window constraints and proposed MILP and CP models to solve the problem, aiming to minimize the total travel time. Yüksel et al. (2021) studied the milk delivery problem. MILP and CP models were developed to solve the problem to minimize the total cost arising from fuel consumption and delays. Ha et al. (2020) studied the VRP with synchronization constraints. A CP model and an adaptive large neighborhood search algorithm were presented. Hojabri et al. (2018) studied a VRP with time windows. A CP model and a large neighborhood search algorithm were proposed as the solution method. Also, Öztop (2022) proposed a CP model for the open VRP. However, the number of studies developing CP models for the EVRP is quite limited. Booth & Beck (2019) addressed the EVRP with time windows and developed MILP and CP models for addressing the homogeneous fleet problem. Lam et al. (2022) studied the EVRP with time window constraints to minimize the total cost, for which a CP model and branch-cut-price algorithm were proposed.

Due to increasing costs in today's conditions, solving production planning and product distribution problems effectively has become increasingly important to reduce the associated total costs. In the literature, these problems were solved in an integrated manner for various industrial applications. For instance, the integrated production scheduling and distribution problem has been

addressed for perishable products in the studies of Farahani et al. (2012), Chen et al. (2019), and Devapriya et al. (2016). Since perishable products are time-sensitive, integrated scheduling is important in these production systems (Ulrich 2013; Moons et al. 2017). Integrated production scheduling and distribution have also been applied to other industries such as furniture manufacturing (Mohammadi et al. 2020), metalworking (Wang et al. 2019), and metal packing (Fu et al. 2017) industries. Similarly, in the literature, some studies involve industrial applications for the EVRP. For instance, Zhao et al. (2020) studied the EVRP in cold chain logistics for the distribution of fresh products. Zhao and Lu (2019) addressed a real-world EVRP for a logistics company. By integrating electric vehicles in fleets, industries can considerably reduce distribution costs and carbon footprint. Owing to the environmental benefits of electric vehicles, it is expected that the usage of electric vehicles in the industry will increase in the future. As a result, regarding the industrial applications of integrated production and distribution scheduling problems and EVRP, it can be said that the integrated SM-EVRP discussed in this study can be applied in various industrial sectors.

As mentioned above no study integrates single-machine scheduling and EVRP in the literature. Thus, this study considers the integrated single-machine scheduling and EVRP for the first time in the literature. Moreover, novel mathematical models, i.e., the MILP and CP models, are proposed to address this complex problem. The problem being studied distinguishes itself from other works in the literature with these characteristics. Therefore, this study contributes to both the literature on integrated production and distribution problems and the literature on EVRP. In terms of managerial insights, the proposed models can provide effective solutions for the integrated SM-EVRP of companies and help managers to accelerate their sustainability efforts in product delivery while ensuring customer satisfaction. As the integrated problem is being studied for the first time, this study is expected to serve as an important resource for future researchers. The contributions of this study can be listed as follows:

- The integrated SM-EVRP has been addressed to minimize customer product delivery tardiness costs.
- A MILP model is developed for the integrated SM-EVRP.
- A CP model is proposed for the integrated SM-EVRP.
- The performance of the mathematical models is tested on a set of various-sized instances.

The subsequent sections of this paper have been planned as follows: In the second section, a detailed problem definition of the addressed problem is provided, clarifying the related assumptions of the problem. In the third section, the formulations for the developed MILP and CP models are presented. In the fourth section, the numerical results of the mathematical models are presented for comparing their performances. The study is summarized and concluded in the fifth section.

2. Problem Definition

In the SM-EVRP, products requested by customers (jobs) are produced on a single machine. After the completion of the processing of jobs on the machine, these products are distributed to customers using electric vehicles. The SM-EVRP aims to obtain the job processing order and a route plan for electric vehicles that minimize the costs associated with delays in customer product delivery. The detailed assumptions for the SM-EVRP are as follows:

- There is a single machine in the production system.
- The processing times of jobs are independent of the job processing order and are known at the beginning.
- All jobs are ready at the beginning.
- At a time, the machine can produce only one job.
- The job processing times cannot be divided.
- The setup times of jobs are independent of the job processing order and are involved in the processing time.
- Each electric vehicle's route must start and end at the depot.
- Each customer must be visited by precisely one electric vehicle.
- Electric vehicles can visit a battery charging station between any two nodes on their route to recharge their batteries.
- Electric vehicles have a certain load capacity and a certain battery limit.
- Each battery charging station can be visited by multiple electric vehicles.
- The battery level of each electric vehicle is fully charged at a charging station visit.
- Each electric vehicle can start its route once all the jobs assigned to that vehicle are completed on the single machine.
- Each customer has a certain due date for receiving a product and a certain tardiness penalty cost.

The sets and parameters used in the developed mathematical models are given in Table 1.

Table 1. Sets and parameters

Sets and Parameters
0, N + 1: Depot nodes (0: starting depot, N + 1: ending depot)
F: Charging station set $\{1, 2, \dots, S\}$
F': Dummy charging station set
V: Customer set, $\{1, 2, \dots, N\}$
V₀: Customer and depot (0) set
V_{N+1}: Customer and depot (N + 1) set
V': Customer and charging station set
V'₀: Customer, charging station, and depot (0) set
V'_{N+1}: Customer, charging station, and depot (N + 1) set
V'_{0,N+1}: Customer, charging station, depot (0), and depot (N + 1) set
K: Vehicle set
N: Number of customers
Q_k: Battery limit of electric vehicle k
h_k: Battery charge consumption rate for electric vehicle k
C_k: Load capacity of electric vehicle k
d_{i,j}: Travel distance from point i to point j
q_i: Product demand quantity of customer i
s_i: Service time for customer i
l₀: A sufficiently large number
l_i: Latest time to arrive at the customer i
g_k: Unit charging time for electric vehicle k
tc_i: Penalty cost incurred for arriving late to customer i
process_i: Processing time for job i

3. Mathematical Models

3.1. Mixed-Integer Linear Programming Model

In the development of the MILP model for SM-EVRP, it is benefited from the MILP models for EVRP presented in the studies of Kucukoglu et al. (2021) and Schneider et al. (2014). The decision variables for the developed MILP model are explained below.

Decision Variables

$x_{i,j,k}$: 1 if electric vehicle k visits from node i to node j ; 0 otherwise, $\forall i, j \in V'_{0,N+1}, i \neq j, \forall k \in K$

$z_{i,r}$: 1 if job i is processed at position r on the machine; 0 otherwise, $\forall i, r \in V$

$y_{i,k}$: Battery level of vehicle k in node i , $\forall i \in V'_{0,N+1}, \forall k \in K$

p_i : Delivery time of products to customer i

$Comp_i$: Completion time for job i on the machine

Str_k : Departure time of electric vehicle k from the depot

T_i : Delivery delay quantity for customer i

The developed MILP model's constraints and objective function are given below.

Objective Function:

$$MinZ = \sum_{j \in V} tc_j \times T_j. \quad (1)$$

Constraints:

$$\sum_{j \in V'_{N+1}} \sum_{k \in K} x_{i,j,k} = 1, \forall i \in V. \quad (2)$$

$$\sum_{j \in V'_{N+1}} \sum_{k \in K} x_{i,j,k} \leq 1, \forall i \in F'. \quad (3)$$

$$\sum_{j \in V'_{N+1}} x_{0,j,k} = 1, \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{i \in V'_0} x_{i,j,k} = \sum_{i \in V'_{N+1}} x_{j,i,k}, \forall j \in V', \forall k \in K. \quad (5)$$

$$y_{j,k} \leq y_{i,k} - (h_k \times d_{i,j}) \times x_{i,j,k} + Q_k \times (1 - x_{i,j,k}), \forall i \in V, \forall j \in V'_{N+1}, \forall k \in K. \quad (6)$$

$$y_{j,k} \leq Q_k - (h_k \times d_{i,j}) \times x_{i,j,k}, \forall i \in F' \cup \{0\}, \forall j \in V'_{N+1}, \forall k \in K. \quad (7)$$

$$y_{0,k} \leq Q_k, \forall k \in K. \quad (8)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in V'_{N+1}} q_i \times x_{i,j,k} \leq C_k, \forall k \in K. \quad (9)$$

$$p_i + (d_{i,j} + s_i) \times \sum_{k \in K} x_{i,j,k} \leq p_j + l_0 \times \left(1 - \sum_{k \in K} x_{i,j,k}\right), \forall i \in V, \forall j \in V'_{N+1: j \neq N+1}. \quad (10)$$

$$p_i + (d_{i,j} \times x_{i,j,k}) + g_k \times (Q_k - y_{i,k}) \leq p_j + (l_0 + g_k \times Q_k) \times (1 - x_{i,j,k}), \forall i \in F', \forall j \in V'_{N+1}, \forall k \in K. \quad (11)$$

$$\sum_{i \in V'_{0,N+1}} x_{i,N+1,k} = 1, \forall k \in K. \quad (12)$$

$$p_j - l_j \leq T_j, \forall j \in V. \quad (13)$$

$$\sum_{r \in V} z_{i,r} = 1, \forall i \in V. \quad (14)$$

$$\sum_{i \in V} z_{i,r} = 1, \forall r \in V. \quad (15)$$

$$Comp_i \geq process_i, \forall i \in V. \quad (16)$$

$$Comp_j + l_0 \times (1 - z_{i,(r-1)}) + l_0 \times (1 - z_{j,r}) \geq Comp_i + process_j, \forall i, j, r \in V : r > 1. \quad (17)$$

$$Str_k \geq Comp_j - l_0 \times (1 - \sum_{i \in V'_{0,N+1}} x_{i,j,k}), \forall k \in K, \forall j \in V. \quad (18)$$

$$p_j \geq Str_k + d_{0,j} - l_0 \times (1 - x_{0,j,k}), \forall k \in K, \forall j \in V'_{N+1}. \quad (19)$$

The objective function (1) aims to minimize customer product delivery tardiness costs. Constraint (2) guarantees that each customer is served precisely once by an electric vehicle. Constraint (3) guarantees that each dummy charging station is visited by

an electric vehicle at most once. Constraint (4) guarantees that each electric vehicle starts its route from the depot. Constraint (5) ensures the flow balance of routes for each node and electric vehicle. Constraint (6) calculates the battery amount of each vehicle after visiting each customer on the route. Constraint (7) calculates the battery amount of each vehicle after visiting each charging station on the route. Constraint (8) ensures that the battery amount of each electric vehicle leaving the depot is at most equal to the vehicle's battery capacity. Constraint (9) ensures that the total load of the customers visited by each electric vehicle along its route is at most equal to the vehicle's load capacity. Constraint (10) computes the start time for delivery at each customer along the route. Constraint (11) calculates the start time for delivery at the first customer on the route after an electric vehicle departs from the battery charging station, regarding the charging time to replenish its battery and the travel time between nodes. Constraint (12) ensures that each electric vehicle completes its route at the depot. Constraint (13) calculates the product delivery delay amount for each customer based on their due dates. Constraint (14) guarantees that each job is allocated to just one position of the machine. Constraint (15) guarantees that only one job is allocated to each position of the machine. Constraint (16) ensures that the finishing time of each job on the machine is at least equal to the processing time of the job. Constraint (17) calculates the finishing time of each job on the machine based on its processing time and the order in which it is assigned. Constraint (18) calculates the departure time of each electric vehicle from the depot based on the maximum completion time of jobs allocated to that vehicle. Constraint (19) computes the start time for delivery at the first customer on the route for each electric vehicle after it leaves the depot.

3.2. Constraint Programming Model

The decision variables for the developed CP model are explained below.

Decision Variables

$cust_i$: Interval variable for visiting node $i \in V$ with size s_i
 $y_{i,k}$: Optional interval variable for serving node $i \in V'_{0,N+1}$ by vehicle $k \in K$
 seq_k : Sequence variable for vehicle $k \in K$ over $\{y_{i,k} | i \in V'_{0,N+1}\}$
 $level_{i,k}$: Battery level of the vehicle $k \in K$ at node $i \in V'_{0,N+1}$, between 0 and Q_k
 T_i : Tardiness amount for the customer $i \in V$
 z_i : Interval variable for job $i \in V$ with size $process_i$
 $mseq$: Sequence variable for machine over $\{z_i | i \in V\}$
 Str_k : Departure time from the depot for the vehicle $k \in K$

The developed CP model's constraints and objective function are given below.

Objective Function:

$$MinZ = \sum_{j \in V} tc_j \times T_j. \quad (20)$$

Constraints:

$$alternative(cust_i, all(k \in K), y_{i,k}), \forall i \in V. \quad (21)$$

$$\sum_{k \in K} presenceOf(y_{i,k}) \leq 1, \forall i \in F'. \quad (22)$$

$$\sum_{i \in V} q_i \times presenceOf(y_{i,k}) \leq C_k, \forall k \in K. \quad (23)$$

$$first(seq_k, y_{0,k}), \forall k \in K. \quad (24)$$

$$last(seq_k, y_{N+1,k}), \forall k \in K. \quad (25)$$

$$presenceOf(y_{0,k}) = 1, \forall k \in K. \quad (26)$$

$$presenceOf(y_{N+1,k}) = 1, \forall k \in K. \quad (27)$$

$$noOverlap(seq_k, d_{ij}, 1), \forall k \in K. \quad (28)$$

$$level_{0,k} = Q_k, \forall k \in K. \quad (29)$$

$$level_{typeOfNext(seq_k, y_{i,k}, i, i), k} \leq level_{i,k} - (h_k \times d_{i,typeOfNext(seq_k, y_{i,k}, i, i)}), \forall i \in V, \forall k \in K. \quad (30)$$

$$level_{typeOfNext(seq_k, y_{i,k}, i, i), k} \leq Q_k - (h_k \times d_{i,typeOfNext(seq_k, y_{i,k}, i, i)}), \forall i \in F' \cup \{0\}, \forall k \in K. \quad (31)$$

$$endOf(y_{i,k}) \geq startOf(y_{i,k}) + g_k \times (Q_k - level_{i,k}), \forall i \in F', \forall k \in K. \quad (32)$$

$$startOf(y_{j,k}) - l_j \leq T_j, \forall j \in V, \forall k \in K. \quad (33)$$

$$presenceOf(z_j) = 1, \forall j \in V. \quad (34)$$

$$noOverlap(mseq). \quad (35)$$

$$Str_k \geq endOf(z_i) - l_0 \times (1 - presenceOf(y_{i,k})), \forall i \in V, \forall k \in K \quad (36)$$

$$startOf(y_{0,k}) \geq Str_k, \forall k \in K. \quad (37)$$

The CP and MILP models have identical objectives (20), aiming to minimize the cost of customer product delivery delays. It calculates the delay amount for each customer and determines the value of the function by multiplying each customer's delay with the corresponding penalty cost. Constraint (21) ensures that each customer is visited precisely once by a vehicle. Constraint (22) ensures that each dummy charging station is visited by a vehicle at most once. Constraint (23) ensures that the total load of the customers visited along the route of each vehicle does not surpass the vehicle capacity. Constraint (24) ensures that each electric vehicle starts its route from the depot using the *first* command. Constraint (25) ensures that each electric vehicle concludes its route at the depot using the last command. Constraints (26) and (27) ensure the presence of the starting and ending depots for each vehicle using the *presenceOf* command. Constraint (28) ensures that there are no overlapping visits along the route of each electric vehicle using the *noOverlap* command. Constraint (29) guarantees that each electric vehicle starts from the depot with a fully charged battery. Constraint (30) calculates the battery amount of each vehicle after visiting each customer on the route using the *typeOfNext* command by considering the charge loss rate based on the distance traveled. Similarly, Constraint (31) computes the battery amount of each vehicle after visiting each charging station. Constraint (32) calculates the departure time for each electric vehicle from each charging station using the *endOf* command by considering the time spent at the charging station. Constraint (33) computes the product delivery delay amount for each customer. Constraint (34) provides that each job is allocated to just one position of the machine. Constraint (35) guarantees that the order of assigned jobs to the machine does not overlap using the

noOverlap command. Constraints (36) and (37) calculate the time for each electric vehicle to start its route from the depot with the *startOf* command based on the maximum ending time of jobs assigned to that vehicle.

4. Computational Results

The MILP and CP models were solved using IBM ILOG CPLEX 12.10. Various-sized instances were created to evaluate the performance of the models. While generating these instances, the location and service time information for customers and battery charging stations were obtained from the instances in the study of Goeke (2019). The traveling distance between two locations equals the resultant Euclidean distance rounded to an integer. As mentioned in Section 2, electric vehicles can visit any battery charging station on their route to recharge their batteries. To ensure that sufficient number of charging stations are available for each customer, dummy charging stations were defined as many as the number of customers for each charging station. Thus, $N \times S$ dummy charging stations were defined in total. The generated instances included 42 different scenarios with the number of customers varying from 6 to 16; number of charging stations varying from 2 to 5; random customer product demands in the range of [10, 80]; random job processing times in the range of [10, 60]; and random customer product delivery tardiness costs in the range of [0.1, 0.5]. Due dates of the customers were generated based on various due-date tightness factors. Namely, due date values taken from the study of Goeke (2019) were divided by a due-date tightness factor varying between 2–4. All electric vehicles were assumed to have identical structural features. Each vehicle has a battery charge consumption rate of 1 unit, a load capacity of 200 units, a battery limit of 78 units, and a unit charging time of 3. The generated instances are available in Dataset (2024). The solutions of the developed mathematical models were obtained within a time limit of 1800 seconds; results are given in Table 2.

Table 2. Computational results

Instance	Number Of Customers	Number Of Charging Stations	Number Of Vehicles	MILP		CP		Best Lower Bound
				Objective Function Value	CPU (s)	Objective Function Value	CPU (s)	
c101C6-1-1	6	3	4	2.59	1800	0	1.45	0
c101C6-1-2	6	3	4	0	31.86	0	79.84	0
c101C6-2-1	6	3	4	21.21	1800	11.64	1800	0
c101C6-2-2	6	3	4	41.57	1800	30.39	1800	0
c101C6-3-1	6	3	4	50.06	1800	47.44	1800	0
c101C6-3-2	6	3	4	99.18	1800	99.18	1800	0
c103C6-1-1	6	2	4	0	0.94	0	0.67	0
c103C6-1-2	6	2	4	0	3.44	0	0.69	0
c103C6-2-1	6	2	4	0.44	19.94	0.44	0.77	0.44
c103C6-2-2	6	2	4	7.6	28.03	7.6	0.79	7.6
c103C6-3-1	6	2	4	7.03	11.97	7.03	1.81	7.03
c103C6-3-2	6	2	4	1.7	13.7	1.7	0.85	1.7
c206C6-1-1	6	4	4	0	1.55	0	1.19	0
c206C6-1-2	6	4	4	0	1.55	0	0.24	0
c206C6-2-1	6	4	4	0	1.74	0	0.74	0
c206C6-2-2	6	4	4	0	1.55	0	0.86	0
c206C6-3-1	6	4	4	0	13.53	0	0.92	0
c206C6-3-2	6	4	4	0	12.03	0	1.18	0
c208C6-1-1	6	3	4	0	1.09	0	635	0
c208C6-1-2	6	3	4	0	0.64	0	52.5	0
c208C6-2-1	6	3	4	0	1.28	0	242	0
c208C6-2-2	6	3	4	0	4.06	0	584.86	0
c208C6-3-1	6	3	4	0	6.27	0	737	0
c208C6-3-2	6	3	4	0	1.72	0	807.73	0
c104C10-1-1	10	4	6	75.48	1800	0	4.66	0
c104C10-1-2	10	4	6	89.02	1800	0	4.79	0
c104C10-2-1	10	4	6	460.43	1800	0	17.2	0
c104C10-2-2	10	4	6	20.02	1800	4.8	1800	0
c104C10-3-1	10	4	6	411.1	1800	85.63	1800	0
c104C10-3-2	10	4	6	554.17	1800	71.34	1800	0
c101C12-1-1	12	5	7	*	1800	77.55	1800	0
c101C12-1-2	12	5	7	*	1800	0	81.12	0
c101C12-2-1	12	5	7	1507.08	1800	156.9	1800	0
c101C12-2-2	12	5	7	1211.3	1800	106.92	1800	0
c101C12-3-1	12	5	7	*	1800	379.91	1800	0
c101C12-3-2	12	5	7	*	1800	420.4	1800	0
c103C16-1-1	16	5	9	*	1800	14.05	1800	0
c103C16-1-2	16	5	9	*	1800	3.92	1800	0
c103C16-2-1	16	5	9	*	1800	109.79	1800	0
c103C16-2-2	16	5	9	2325.91	1800	393.11	1800	0
c103C16-3-1	16	5	9	*	1800	651.86	1800	1.12
c103C16-3-2	16	5	9	*	1800	593.03	1800	1.6
Average					989.45		849.02	

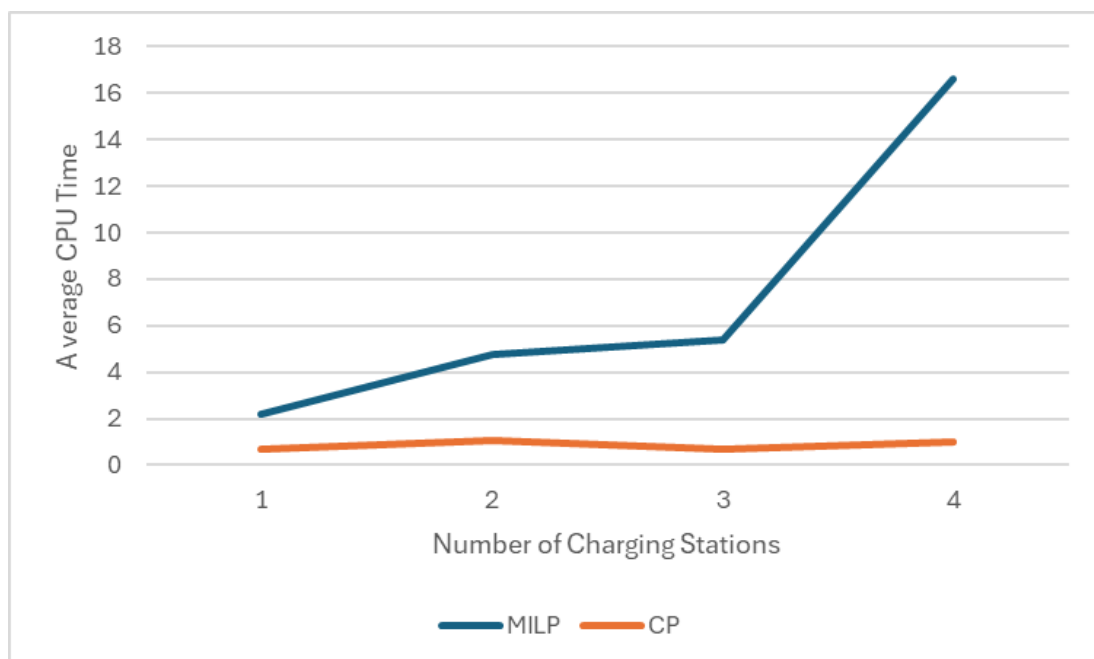
In Table 2, the instances in the “Instance” column are labeled according to the original instance and due-date tightness factor. Two instances are generated for each combination of the due-date tightness factor by randomly generating various parameters

for the original instance. For example, c101C6-1 has a more flexible due-date tightness factor, whereas c101C6-2 has a tighter due-date tightness factor. Similarly, c101C6-3 has a tighter due-date tightness factor than c101C6-2. The objective function values and CPU times (in seconds) are reported for each model. A CPU value of 1800 s indicates that the problem could not be optimally solved within the given time limit. The symbol “*” indicates that the MILP model could not find a feasible solution for that instance within the 1800-s limit. The CPU row shows the average solution times for the developed MILP and CP models. The values in the last column of Table 2 represent the best lower bounds for the instances obtained by the models after reaching the time limit.

The analysis of results shown in Table 2 indicate that the MILP model achieved optimal solutions within the 1800-s limit for 19 out of 42 instances. In contrast, the CP model found optimal solutions for 24 out of 42 instances. Both models yielded the same objective function value for 20 instances. The developed CP model found better solutions for 22 instances compared to the MILP model, which confirmed the difference in their performances. When analyzing the average solution times for the developed mathematical models, the MILP model had an average solution time of 989.45 s, whereas the CP model had an average solution time of 849.02 s. When the results were examined, it was observed that the MILP model struggled to find feasible solutions for larger instances with 12 and 16 customers within the 1800-s limit. The solution quality of the MILP model decreased considerably with increasing number of customers and charging stations. However, the CP model is still able to find feasible solutions for such larger instances. This indicates that the CP formulation performs better than the MILP formulation in achieving better solutions in less computational time for the integrated SM-EVRP. The CP model has superior performance than the MILP model in this regard.

The effect of the number of charging stations on the solution times of the MILP and CP models was also analyzed. In this analysis, four instances with six customers were run by the MILP and CP models by considering four different numbers of charging stations. The average solution time values were calculated for each number of charging stations over four instances. Average solution times of each model for different numbers of charging stations are provided in Figure 1. As shown in the figure, the solution time of the MILP model increases as the number of charging stations increases, whereas that of the CP model does not change considerably. In addition, the solution time of the CP model is less than that of MILP model for these instances, similar to the results listed in Table 2. Thus, the CP model has stable solution times for different numbers of charging stations and outperforms the MILP model.

Figure 1. Solution time of the models for different number of charging stations



In terms of limitations of the models, it has been observed that the obtained lower bound values are low, usually 0, for both models when optimal results cannot be achieved within the time limit. Both models have difficulty in finding good quality lower bounds, particularly for large-sized problems. Hence, in future studies, developing a good-quality lower bound for the problem would be a promising research direction to improve the performance of the models.

5. Conclusion

In this study, the integrated SM-EVRP has been addressed. Electric vehicles, which are increasingly becoming part of vehicle fleets in supply chains due to sustainability initiatives, have different routing decisions than conventional vehicles. The various battery constraints and charging station visits associated with electric vehicles make the EVRP more challenging and complex. The consideration of the integrated SM-EVRP in this study is highly significant for enhancing the efficiency of production and logistics activities simultaneously. The inclusion of electric vehicles in vehicle fleets, with their significantly low energy consumption and nearly zero emissions, presents an opportunity for companies to improve their energy efficiency and minimize the environmental impact of traditional vehicles. By simultaneously considering machine scheduling and product distribution processes in supply chain systems, the overall process efficiency can be improved. In terms of contributions of this study, it is noteworthy that the SM-EVRP has been addressed herein for the first time, and the MILP and CP models have been proposed for the problem. The objective of the developed mathematical models is the minimization of customer product delivery delay costs, aiming to enhance customer satisfaction. A comparison of the mathematical models on a set of instances revealed that the CP model demonstrated superior performance than the MILP model. For the generated instances, the CP model obtained a greater number of optimal solutions and lower CPU values than the MILP model. Nevertheless, both mathematical models successfully obtained optimal results for most of the small-sized instances. Numerical analysis revealed that the CP model could also find a feasible solution for large-sized instances. In future studies, a lower bound for the problem can be developed and added to the CP model, so that it can better evaluate the quality of solutions for large-sized instances. Moreover, heuristic methods can be presented to solve larger-sized instances. The inclusion of SDST for single machine scheduling part of the problem can also be considered. Additionally, more complex scheduling environments, such as the flowshop scheduling problem, can also be integrated with the EVRP in future research studies.

Peer Review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Conception/Design of Study- İ.B., H.Ö., Z.A.Ç.; Data Acquisition- İ.B., H.Ö., Z.A.Ç.; Data Analysis/Interpretation- İ.B., H.Ö., Z.A.Ç.; Drafting Manuscript- İ.B., H.Ö., Z.A.Ç.; Critical Revision of Manuscript- İ.B., H.Ö., Z.A.Ç.; Final Approval and Accountability- İ.B., H.Ö., Z.A.Ç.

Conflict of Interest: Authors declared no conflict of interest.

Financial Disclosure: Authors declared no financial support.

ORCID IDs of the authors

İclal Bağcı	0009-0000-7207-3047
Hande Öztop	0000-0002-6503-7299
Zeynel Abidin Çil	0000-0002-7270-9321

REFERENCES


- Berghman, L., Kergosien, Y., & Billaut, J. C. (2023). A review on integrated scheduling and outbound vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research*.
- Booth, K. E., & Beck, J. C. (2019). A constraint programming approach to electric vehicle routing with time windows. In *Integration of Constraint Programming, Artificial Intelligence, and Operations Research: 16th International Conference, CPAIOR 2019, Thessaloniki, Greece, June 4–7, 2019, Proceedings 16* (pp. 129-145). Springer International Publishing.
- Bruglieri, M., Pezzella, F., Pisacane, O., & Suraci, S. (2015). A variable neighborhood search branching for the electric vehicle routing problem with time windows. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 47, 221-228.
- Chen, H. K., Hsueh, C. F., & Chang, M. S. (2009). Production scheduling and vehicle routing with time windows for perishable food products. *Computers & operations research*, 36(7), 2311-2319.
- Dataset (2024). < <https://124.im/8KTgI>>
- Devapriya, P., Ferrell, W., & Geismar, N. (2017). Integrated production and distribution scheduling with a perishable product. *European Journal of Operational Research*, 259(3), 906-916.
- Farahani, P., Grunow, M., & Günther, H. O. (2012). Integrated production and distribution planning for perishable food products. *Flexible services and manufacturing journal*, 24, 28-51.
- Felipe, Á., Ortuño, M. T., Righini, G., & Tirado, G. (2014). A heuristic approach for the green vehicle routing problem with multiple technologies and partial recharges. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 71, 111-128.
- Fu, L. L., Aloulou, M. A., & Triki, C. (2017). Integrated production scheduling and vehicle routing problem with job splitting and delivery time windows. *International Journal of Production Research*, 55(20), 5942-5957.

- Goeke, D. (2019). Granular tabu search for the pickup and delivery problem with time windows and electric vehicles. *European Journal of Operational Research*, 278(3), 821-836.
- Hà, M. H., Nguyen, T. D., Duy, T. N., Pham, H. G., Do, T., & Rousseau, L. M. (2020). A new constraint programming model and a linear programming-based adaptive large neighborhood search for the vehicle routing problem with synchronization constraints. *Computers & Operations Research*, 124, 105085.
- He, P., Li, K., & Kumar, P. R. (2022). An enhanced branch-and-price algorithm for the integrated production and transportation scheduling problem. *International Journal of Production Research*, 60(6), 1874-1889.
- Hojabri, H., Gendreau, M., Potvin, J. Y., & Rousseau, L. M. (2018). Large neighborhood search with constraint programming for a vehicle routing problem with synchronization constraints. *Computers & Operations Research*, 92, 87-97.
- Jamili, N., Ranjbar, M., & Salari, M. (2016). A bi-objective model for integrated scheduling of production and distribution in a supply chain with order release date restrictions. *Journal of Manufacturing Systems*, 40, 105-118.
- Keskin, M., & Çatay, B. (2016). Partial recharge strategies for the electric vehicle routing problem with time windows. *Transportation research part C: emerging technologies*, 65, 111-127.
- Koulamas, C. (2010). The single-machine total tardiness scheduling problem: Review and extensions. *European Journal of Operational Research*, 202(1), 1-7.
- Küçüköğlü, İ., & Öztürk, N. (2016). Heterojen Filoya Sahip Elektrikli Araçların Rota Optimizasyonu. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(3), 525-534.
- Kucukoglu, I., Dewil, R., & Cattrysse, D. (2021). The electric vehicle routing problem and its variations: A literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 161, 107650.
- Lam, E., Desaulniers, G., & Stuckey, P. J. (2022). Branch-and-cut-and-price for the electric vehicle routing problem with time windows, piecewise-linear recharging, and capacitated recharging stations. *Computers & Operations Research*, 145, 105870.
- Li, K., Zhou, C., Leung, J. Y., & Ma, Y. (2016). Integrated production and delivery with single machine and multiple vehicles. *Expert Systems with Applications*, 57, 12-20.
- Liao, C. J., & Juan, H. C. (2007). An ant colony optimization for single-machine tardiness scheduling with sequence-dependent setups. *Computers & operations research*, 34(7), 1899-1909.
- Long, J., Pardalos, P. M., & Li, C. (2022). Level-based multi-objective particle swarm optimizer for integrated production scheduling and vehicle routing decision with inventory holding, delivery, and tardiness costs. *International Journal of Production Research*, 60(11), 3319-3338.
- Low, C., Chang, C. M., Li, R. K., & Huang, C. L. (2014). Coordination of production scheduling and delivery problems with heterogeneous fleet. *International Journal of Production Economics*, 153, 139-148.
- Luo, X., & Chu, F. (2006). A branch and bound algorithm of the single machine schedule with sequence-dependent setup times for minimizing total tardiness. *Applied Mathematics and Computation*, 183(1), 575-588.
- Mohammadi, S., Al-e-Hashem, S. M., & Rekik, Y. (2020). An integrated production scheduling and delivery route planning with multi-purpose machines: A case study from a furniture manufacturing company. *International Journal of Production Economics*, 219, 347-359.
- Moons, S., Ramaekers, K., Caris, A., & Arda, Y. (2017). Integrating production scheduling and vehicle routing decisions at the operational decision level: a review and discussion. *Computers & Industrial Engineering*, 104, 224-245.
- Ozcelik, F., Ertem, M., & Saraç, T. (2022). A stochastic approach for the single-machine scheduling problem to minimize total expected cost with client-dependent tardiness costs. *Engineering Optimization*, 54(7), 1178-1192.
- Öztop, H. (2022, October). A Constraint Programming Model for the Open Vehicle Routing Problem with Heterogeneous Vehicle Fleet. In *The International Symposium for Production Research* (pp. 345-356). Cham: Springer International Publishing.
- Öztop, H., Kizilay, D., & Çil, Z. A. (2021). Mathematical models for the periodic vehicle routing problem with time windows and time spread constraints. *An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications (IJOCTA)*, 11(1), 10-23.
- Schneider, M., Stenger, A., & Goeke, D. (2014). The electric vehicle-routing problem with time windows and recharging stations. *Transportation Science*, 48(4), 500-520.
- Tanaka, S., & Araki, M. (2013). An exact algorithm for the single-machine total weighted tardiness problem with sequence-dependent setup times. *Computers & Operations Research*, 40(1), 344-352.
- Ullrich, C. A. (2013). Integrated machine scheduling and vehicle routing with time windows. *European Journal of Operational Research*, 227(1), 152-165.
- Wang, J., Yao, S., Sheng, J., & Yang, H. (2019). Minimizing total carbon emissions in an integrated machine scheduling and vehicle routing problem. *Journal of Cleaner Production*, 229, 1004-1017.
- Yüksel, D., Kizilay, D., Öztop, H., & Özkan, S. (2021). Mathematical models for milk dispatching problem. *Journal of Transportation and Logistics*, 6(2), 217-235.
- Zhao, M., & Lu, Y. (2019). A heuristic approach for a real-world electric vehicle routing problem. *Algorithms*, 12(2), 45.
- Zhao, Z., Li, X., & Zhou, X. (2020). Distribution route optimization for electric vehicles in urban cold chain logistics for fresh products under time-varying traffic conditions. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, 1-17.

How cite this article

Bağcı, İ., Öztop, H., Abidin Çil, Z. (2024). Mathematical modelling approaches for integrated single machine scheduling and electric vehicle routing problem. *Journal of Transportation and Logistics*, 9(1), 48-59. <https://doi.org/10.26650/JTL.2024.1414907>

Impact of Countries' Logistics Performance on Their Exports: The Case of G-8 Countries

Yaşar Turna¹ 

¹(Lecturer Dr.), Pamukkale University, Çivril Atasay Kamer Vocational Scholl, Finance-Banking and Insurance Programme, Denizli, Türkiye

ABSTRACT

The increase in international integration along with technological developments in the world is effective in increasing the diversity of communication and transportation means between countries. In addition, production and export volumes are also increasing thanks to the removal of obstacles to international trade and facilitating legislative practices. The dynamic structure of production and export growth causes the increase and intensification of logistics activities, further increasing the importance of logistics activities. From this point of view, this study analyzes the relationship between the logistics performance indicators of eight developed countries and their export rates. In the analysis, the decision tree method, which is one of the machine learning methods that has been developed differently from other data analysis methods and gives more stable and qualified results in the established models, has been used. In the decision tree analysis, the logistics performance index and export rate data obtained from eight developed countries between the years 2007 and 2022 were used. As a result of the analysis, it is seen that the efficiency of logistics processes significantly affects export performance. However, depending on the differentiation of the country's trade and legislation structures, it is seen that the logistics performance indicators that affect exports differ in the countries that are the subject of the analysis.

Keywords: Export, Logistics Performance, Decision Trees, Machine Learning

Jel Code: C45, F02, F13, F17

1. Introduction

Logistics refers to the transportation, planning and storage processes and the movement of goods in domestic and foreign markets from the first moment the goods and services are produced to meet the needs of consumers until the consumption stage. In this context, logistics activities are important because they play a coordinating role in both production and consumption processes (Aksungur & Bekmezci, 2020). The increase in international integrations with the technological developments in the world has been effective in increasing the diversity of communication and transportation tools, especially among the countries that are trade partners. In addition, the volume of production and exports increased with the removal of barriers to international trade and facilitating legislative practices. The dynamic structure of production and export growth has increased the importance of logistics activities by causing the increase and intensification of logistics activities (Acar & Benli, 2021). This importance of logistics activities in providing domestic and international flows of goods and services makes it necessary to examine the logistics performances and logistics management of countries. Accordingly, the systematic management of logistics activities in an economy reduces economic and time costs, leading to an increase in competitiveness within and outside the country. Considering that many countries in the world have developed strategies to increase their international competitiveness, the importance of logistics activities, especially in international trade, comes to the fore (Oflluğlu at all., 2018).

Considering countries' trade structures, it is generally seen that there are many export-promoting activities. The regularity and continuity of these encouraging activities are significantly affected by logistics activities. When developed countries with developed trade infrastructure and high export potential are examined, it is observed that the logistics networks of these countries are developed. In addition, in today's global competitive environment, it is considered a necessity for goods or services to reach the supplier quickly and completely. This situation requires the logistics processes to be completed. Therefore, it becomes important to measure the logistics processes that provide a competitive advantage in trade in goods and services because the measurable logistics performance of countries makes it easier to make comparisons between countries (Aksungur & Bekmezci, 2020).

Corresponding Author: Yaşar Turna E-mail: yturna@pau.edu.tr

Submitted: 01.09.2023 • **Revision Requested:** 16.11.2023 • **Last Revision Received:** 16.11.2023 • **Accepted:** 25.12.2023 • **Published Online:** 05.03.2024



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

The measurement of logistics activities of countries is carried out using various sub-dimensions based on certain performance criteria. Such a measurement is carried out through the logistic performance index. The logistics performance index provides information about the structure and development levels of countries' logistics networks. This index is calculated and published by the World Bank. The main purpose of the World Bank in creating the logistics performance index is to provide information to increase trade performance by eliminating the difficulties that countries face while trading (Altıntaş, 2021). With this information, measures and regulations regarding the country's logistics infrastructure can be made. In this way, the logistics performance index and logistics capabilities of the countries can be improved and it also provides a competitive advantage in global trade (Pinar & Diken; 2020).

Sub-dimensions taken as basis in creating the logistics performance index include:

- Ability to track and trace consignments;
- Competence and quality of logistics services;
- Ease of arranging competitively priced shipments;
- Efficiency of customs clearance process;
- Frequency with which shipments reach consignee within scheduled or expected time; and
- Quality of trade and transport-related infrastructure (Altıntaş, 2021).

The logistics performance index created in this way is a value between 1 and 5. The calculation of the index is obtained based on the arithmetic averages of the sub-dimensions. According to the obtained logistics performance index, countries are grouped as follows (Altıntaş, 2021):

Table 1. LPI Country Classification

Groups	LPI Value	Describing
1. Group	$0 \leq \text{LPI} \leq 2.24$	Non-logistics friendly countries
2. Group	$2.25 \leq \text{LPI} \leq 2.99$	Partially performing countries
3. Group	$3 \leq \text{LPI} \leq 3.49$	Countries with stable performance
4. Group	$3.50 \leq \text{LPI} \leq 5$	Logistics friendly countries

Source: Altıntaş, 2021

Logistics activities are also considered as a process that starts with the pre-transportation information flow following the purchase and sale of goods and services and is completed with the post-transportation storage process. For this reason, the importance of logistics activities is increasing, especially in international trade. In this context, developments in the logistics performance of countries also affect export rates (Şimşek & Yiğit, 2019). The developed logistics processes, as well as the legal structures of the countries, create a competitive advantage in mutual trade. With the impact of globalization, the removal of many obstacles to the flow of international goods causes transportation and logistics costs to come to the fore. Therefore, transportation costs are expected to be lower in countries with developed and stable logistics performance. By ensuring logistics efficiency, countries become advantageous in international trade and their export potential increases (Uğurlu & Keser, 2020).

Depending on the increase in global trade, it is observed that logistics activities increase proportionally (Şimşek & Yiğit, 2019). Increases in logistics activities lead to the increased division of labor specialization in this field. Increasing the division of labor and specialization helps to facilitate international trade. Therefore, this cycle between logistics activities and foreign trade turns into a self-reinforcing process, enabling countries to increase their foreign trade performance. Additionally, sustainable logistics activities are important in increasing the foreign trade potential of countries because there is a positive relationship between the logistics performance of countries and their development levels (Ateş & Işık, 2010).

2. Literature Review

Some studies related to the literature on logistics performance and export performance of countries are given below. From the studies conducted on this subject, according to Başar and Bozma (2017), a relationship was observed between the logistics performance index and foreign trade. According to Emirkadı and Balcı (2018), there is a positive relationship between the logistics sector and exports. According to Emirkadı and Balcı (2018), there is a positive relationship between the logistics sector and exports. In their study, Pekmezci and Mutlu (2018) analyzed the subject of the logistics performance index and examined the tendencies of researchers on the subject. Bozkurt and Mermertaş (2019) argue that the G-8 countries exhibit high logistics performance. According to Çubukçu and İmamoğlu (2019), a positive relationship was detected between the logistics performance of companies and their export performance. According to Güngör et al. (2019), developments in the logistics sector of countries affect the economic growth capacity. In their study, Karaköy and Üre (2019) found a positive relationship between the logistics performance

and economic growth performance of common and high-income countries. In their study, Korkut et al. (2020) concluded that there is a mutual relationship between international trade structures and logistics sector activities in G-20 countries. Arabacı and Yücel (2020) concluded in their study that the logistics sector contributed to economic growth as a result of increasing trade volume. In their study, Cansız and Ünsalan (2020) analyzed the input components affecting the logistics performance index with an artificial neural network model and suggested that a more objective logistics performance index could be obtained. According to Koca (2021), there is a positive and bidirectional causality relationship between the logistics sector and foreign trade. In the study where Manavgat and Demirci (2021) analyzed the factors affecting the logistics performance index, they concluded that foreign trade data has a positive and significant effect on the logistics performance index. Aydın (2022) emphasizes that the logistics sector has a strong relationship with other sectors, based on the input-output model he made for the logistics sector. According to Balta and Cura (2022), there is a positive relationship between the export performance of companies and their logistics performance. According to Bozdağlıoğlu and Kesir (2022), the logistics sector in Turkey affects foreign trade. In their study, Erturgut and Oğuz (2022) concluded that logistics activities increase exports in EU countries. Meşin and Cura (2022) argue that there is a positive relationship between the logistics performance of countries and their economic development levels. In their study, Bilgin and Sunaoğlu (2022) analyzed many studies on the subject in different national/international databases. As a result of the study, it was determined that the number of studies conducted specific to certain products and sectors was low in the articles examined.

When the studies in the literature are examined, it can be said that there is a generally positive relationship between the logistics performance of countries and their export or foreign trade performance as a whole.

3. Data Set and Method

This study aims to test the relationship between the logistics performances of the G-8 countries (Italy, Germany, France, Canada, America, England, Russia, Japan) and their export quantities, based on the evaluations in the literature. In the analysis used in the study, exports are included as the dependent variable, and the logistics performance index values are included as the independent variable. In the analyses made within this framework, the logistics performance index data and export data of the G-8 Countries between the years 2007-2022 were used.

The data used was obtained from the World Development Indicator database. The relationship between the variables was tested using the decision tree method, one of the machine learning algorithms, which is included in the artificial intelligence analysis methods, in parallel with the widespread use of artificial intelligence in data analysis in the recent period. Subgroup classifications of the data used in the analysis of the logistics performance index are given in the table below.

Table 2. Variable Definitions

Variables	Description
Exp	Export
X_1	Tracking (TRA)
X_2	Logistics Competence (LOG)
X_3	International Transportation (INT)
X_4	Customs Clearance (CUS)
X_5	Timing (TIM)
X_6	Infrastructure (INF)

Source: Koyuncu, 2022

Data regarding the logistics performance index was obtained from the logistics performance index research conducted by the World Bank, international organizations, academic institutions and logistics companies. These data are defined as follows:

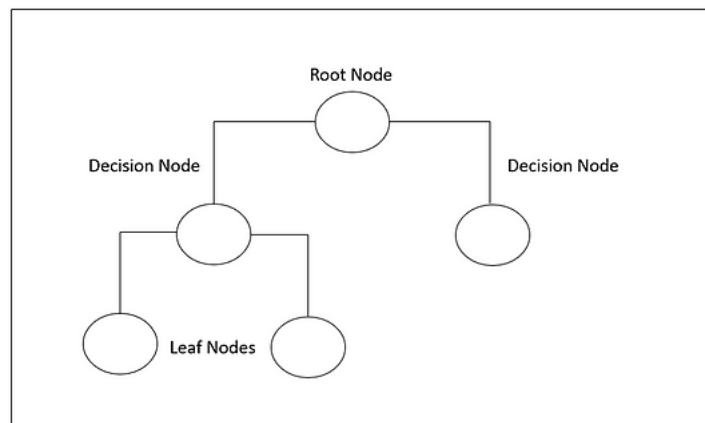
Tracking (TRA) measures the ability to track and trace shipments. Logistics Competence (LOG) measures the logistics competence and quality of logistics services. International Transportation (INT) Competitively priced shipments measure ease of arrangement. Customs Clearance (CUS) measures the efficiency and effectiveness of the customs clearance process. Timing (TIM) means that the shipment is delivered on time. It measures how often logistics service providers reach the recipient within the planned and expected delivery time. Infrastructure (INF) measures the quality of the country's telecommunications and transportation infrastructure (Koyuncu, 2022) Export is the annual growth rate of exports of goods and services based on constant local currency. Aggregates are based on constant 2015 prices, expressed in U.S. dollars. Exports of goods and services represent the value of all goods and other market services provided to the rest of the world. They include the value of merchandise, freight, insurance, transport, travel, royalties, license fees, and other services, such as communication, construction, financial, information, business, personal, and government services. They exclude compensation of employees and investment income (formerly called factor services) and transfer payments.

3.1. Decision Trees

One of the important methods used in predicting data among machine learning methods is the decision tree method. The decision tree approach is considered as a method that approximates a target function and displays the learning algorithms with the decision tree structure. Therefore, the resulting decision tree structure is expressed as a predictive and descriptive model. A decision tree structure plays an important role in determining the input-output relationship and the effect of each factor on the output during the decision-making or evaluation phase. In this context, the decision tree structure can be frequently used among data analysis methods because they are easy to interpret, have low transaction costs and are considered reliable methods (Emel & Taşkın, 2005).

Decision tool algorithms used in data analysis create new models that enable unknown data to be easily interpreted. The decision tree structure used in predictions consists of leaf nodes and branches. The starting point of the decision tree is called the root node. The nodes in the leaves of the decision tree represent the test results obtained based on the variable values. Here, the observed leaf nodes represent the classes in which the sample is located. The easily understandable structure of the decision tools and their strong predictions have made this approach popular (Alan, 2014).

Figure 1. Decision Tree Root, Node and Branch Structures



Decision trees can be used to represent classification and regression models in the data analysis process. At the same time, thanks to decision trees, other sub-decision models can be obtained and the results can be interpreted. In this context, decision trees are preferred by analysts who want to develop strategies by reaching the most accurate results that are likely to occur. In data analysis, when decision trees are used for classification, they are called classification trees, and when they are used for regression modeling, they are called regression trees. The decision tree method is considered the most popular inductive method among data analysis methods. Decision tree structures, which are generally formed in two stages, reveal the best discriminant sub-data set between classes at each node (Alan, 2014).

4. Results

Descriptive statistics data regarding the export and logistics performance index data used in the decision tree analysis are included in the table below. This table includes the mean, median, maximum value, minimum value, standard error, and skewness and kurtosis values of the variables, which are indicators of kurtosis and skewness.

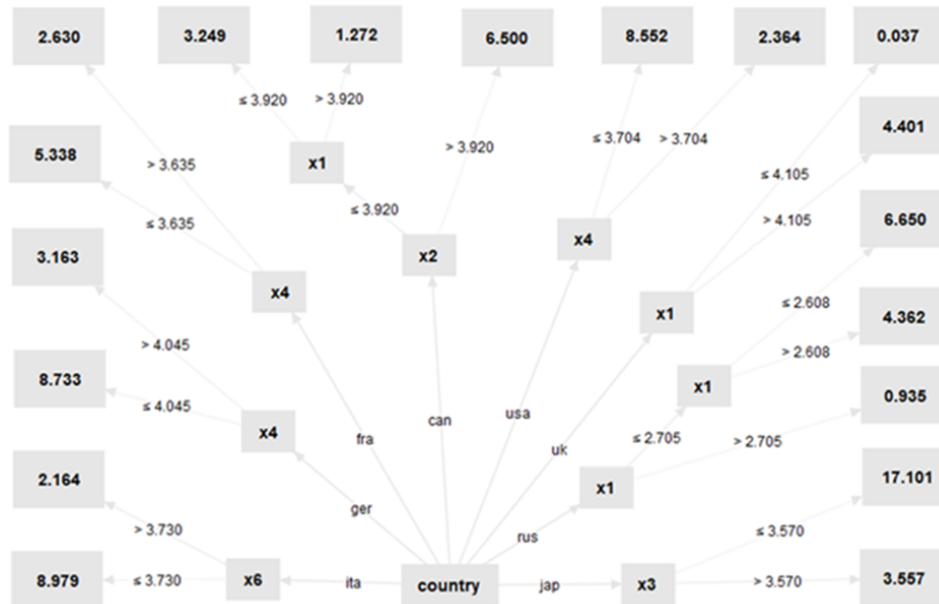
Table 3. Descriptive Statistics for Variables

	Mean	Median	Maximum	Minimum	Std. Dev.	Skewness	Kurtosis
Exp	4.7214	3.1939	24.8607	-1.8236	4.5513	2.14653	9.421603
X1	3.8429	4.01	4.2653	2.17	0.4949	-2.094913	6.170807
X2	3.7720	3.91	4.31	2.46	0.4588	-1.814674	5.221699
X3	3.4715	3.575	3.91	2.4504	0.3730	-1.611925	4.5994
X4	3.5200	3.7117	4.1230	1.94	0.5707	-1.793168	5.111945
X5	4.0775	4.19	4.48	2.94	0.3861	-1.840394	5.299256
X6	3.8515	4.03	4.4393	2.23	0.5583	-1.881089	5.340728

Source: Table data calculated by us.

The decision tree obtained as a result of the analysis made in this study, where the logistics performances and export performances of G-8 countries are evaluated, is shown below.

Figure 2. Decision Tree Results



The analyses in the study were made using the Rapid Miner program. At the same time, the decision tree regression model was applied in the study. Decision tree regression differs from classification algorithms in terms of the outputs obtained. In this context, the decrease in the mean square error is considered as a criterion in demonstrating the reliability of the study results. Therefore, the values of the error squares obtained from the analysis are given in the table below.

Table 4. Root Mean Square Error of Decision Trees Analysis

MODEL	RMSE	MAE
Performance Vector of Decision Tree	6.618	6.250

According to the test errors in the table, it is observed that the prediction errors including RMSE (root mean square error) and MAE (mean absolute error) values have decreased. It is observed that the models established according to Lewis' evaluation criteria are "good" models, that is, stable.

According to the decision tree analysis, the quality of infrastructure related to trade and transportation in Italy, one of the G-8 countries, was analyzed as the decision variable that most affected export performance. In Italy, transportation-related infrastructure quality values vary between 3.52 and 3.85. This value range indicates that Italy is a logistics-friendly country according to the LPI country classification. In this context, when the value of trade and transportation infrastructure exceeds 3.73, a 1-unit change in the logistics performance index increases the export amount by 2.16%, and when the value of trade and transportation infrastructure falls below 3.73, the 1-unit change in the logistics performance index is reduced. It is observed that the export amount increased by 8.97%.

The effectiveness of the customs clearance process in Germany has been analyzed as the decision variable that most affects export performance. In Germany, the efficiency values of the customs clearance process vary between 3.88 and 4.12. This value range shows that Germany is a logistics-friendly country according to the LPI country classification. Accordingly, when the efficiency of the customs clearance process exceeds 4.04, a 1-unit change in the logistics performance index increases the export amount by 3.16%, and when the efficiency of the customs clearance process falls below 4.04, a 1-unit change in the logistics performance index increases the export amount. It increases by 8.73%.

In France, as in Germany, the efficiency of the customs clearance process was analyzed as the decision variable that most affected export performance. In France, the efficiency values of the customs clearance process vary between 3.51 and 3.71. This value range shows that France is a logistics-friendly country according to the LPI country classification. Accordingly, when the efficiency of the customs clearance process exceeds 3.63, a 1-unit change in the logistics performance index increases the export

amount by 2.63%, and when the efficiency of the customs clearance process falls below 3.63, a 1-unit change in the logistics performance index increases the export amount by 5.33%. rate increases.

In Canada, unlike these countries, the competence and quality of logistics services are important as the decision variable that most affects export performance. In Canada, the values of competence and quality of logistics services vary between 3.85 and 4.20. This value range shows that Canada is a logistics-friendly country according to the LPI country classification. Accordingly, when the competence and quality of logistics services in Canada exceeds 3.92, a 1-unit change in the logistics performance index increases the export amount by 6.50%. increases the amount by 3.24%.

In the USA, the effectiveness of the customs clearance process has been analyzed as the decision variable that most affects export performance. In the USA, the efficiency values of the customs clearance process vary between 3.52 and 3.78. This value range shows that the USA is a logistics-friendly country according to the LPI country classification. Accordingly, when the efficiency of the customs clearance process in the USA is above 3.70, the 1-unit change in the logistics performance index increases the export amount by 2.36%, and when the efficiency of the customs clearance process falls below 3.70, the 1-unit change in the logistics performance index increases. change increases the export amount by 8.55%.

The ability to track shipments in the UK has been analyzed as the decision variable that most affects export performance. Values for tracking shipments in the UK range from 4 to 4.12. This value range shows that the UK is a logistics friendly country according to the LPI country classification. Accordingly, a 1-unit change in the logistics performance index increases the export amount by 4.40% when the ability to track the shipment is above 4.10. The change increases the export amount by 0.03%.

The ability to track shipments in Russia draws attention as the decision variable that most affects export performance. Values for tracking shipments in Russia vary between 2.17 and 2.85. This range of values shows that according to the LPI country classification, Russia remains in the indecision zone between the partially performing country and the logistics unfriendly country classification. Accordingly, when the ability to track shipments exceeds 2.70, a 1-unit change in the logistics performance index increases the export amount by 0.93%. When the ability to track shipments is between 2.60 and 2.70, a 1-unit change in the logistics performance index increases the export amount by 4.36%. When the ability to track the shipment drops below 2.60, a 1-unit change in the logistics performance index increases the export amount by 6.65%.

In Japan, unlike other countries, the ease of arranging competitively priced shipments is important as the decision variable that most affects export performance. Values for the ease of arranging competitively priced shipments in Japan range from 3.30 to 3.69. This value range shows that, according to the LPI country classification, Japan is in the uncertainty zone between a stable performing country and a logistics-friendly country. However, according to the decision tree analysis, if the efficiency of the customs clearance process in Japan is low, export performance increases significantly. Therefore, Japan can be considered a country with stable performance. Accordingly, when the effectiveness of the customs clearance process in Japan exceeds 3.57, a 1-unit change in the logistics performance index increases the export amount by 3.55%, and when the effectiveness of the customs clearance process falls below 3.57, a 1-unit change in the logistics performance index increases the export amount by 3.55%. It increases by 17.10 percent.

5. Discussion and Conclusions

In this study, where the relationship between logistics performance indicators and export rates of eight developed countries is analyzed by the decision tree method, it is observed that Western Bloc countries such as Italy, Germany, France, Canada and England, among the G-8 countries, are logistics-friendly countries. It is observed that the logistics performance of Eastern Bloc countries such as Japan and Russia is lower. In addition, analyzing the effectiveness of the customs clearance process as a decision variable in Germany, France and the USA, which are within the Western Bloc, reveals the importance of the customs clearance process in terms of export performance. In this context, it can be concluded that the effective and fast processing of the customs clearance process significantly affects export performance. In addition, when the findings obtained from the study are evaluated holistically, it becomes clear that the logistics performance indicators of countries vary depending on the country structure and their impact on export performance.

Based on these results obtained from developed countries, it can be said that the effectiveness of the customs clearance process comes to the fore compared to other logistics performance indicators. In this context, considering that the export-led growth strategy has come to the fore recently, increasing the efficiency of the customs clearance process in terms of increasing export performance can significantly increase the export performance of countries. Based on this result, the idea that customs union agreements between countries can significantly affect the country's exports is supported. Therefore, in order to increase export performance, increasing the functionality of customs clearance processes together with bilateral agreements regarding customs processes between countries can significantly affect the export performance of countries.

Peer Review: Externally peer-reviewed.

Conflict of Interest: Author declared no conflict of interest.

Financial Disclosure: Author declared no financial support.

ORCID ID of the author

Yaşar Turna 0000-0002-3972-9099

REFERENCES

- Acar, Ö. D. & Benli, M. (2021). Dış Ticarete Lojistik Performansın Etkisi [The Effect of Logistics Performance in Foreign Trade]. *Journal of Management and Economics Research*, 19 (4), 48-65. DOI: 10.11611/yead.897110.
- Aksungur, M. & Bekmezci, M. (2020). Türkiye'nin Lojistik Performansının Değerlendirilmesi Boylamsal Bir Araştırma [Logistics Performance Evaluation of Turkey: A Dimensional Research]. *Toros University İİSBF Social Science Journal*, 7 (12), 19-40. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iisbf/issue/54695/647883>.
- Altıntaş, F. F. (2021). Lojistik Performans Bileşenleri Arasındaki İlişkilerin Yapay Sinir Ağları İle Kestirimi [Estimation of Relations Between Logistics Performance Components By Artificial Neural Networks]. *Euroasia Journal of Social Sciences & Humanities*, 8(20), 101-112.
- Arabacı, H., & Yücel, D. (2020). Lojistik sektörünün ekonomik büyümeye etkisi [The Effect Of Logistics Sector On Economic Growth]. *Balkan and Near Eastern Journal of Social Sciences*, 6(4), 78-84.
- Ateş, İ. & Işık, E. (2010). Türkiye'de Lojistik Hizmetlerinin Gelişiminin İhracattaki Büyümeye Etkileri [The Effects of Development in Logistics Services on Export Led Growth in Turkey]. *Journal of Economic Sciences*, 2(1), 99-106. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ebd/issue/4855/66779>
- Aydın, A. (2022). Lojistik Sektörünün Türkiye Ekonomisindeki Yerinin Girdi Çıktı Modeli ile Analizi [Analysis of Importance of Logistics Sector in Turkish Economy by Using Input Output Model]. *Istanbul Gelisim University Journal of Social Sciences*, 9 (2), ss. 467-491.
- Balta, D., & Cura, F. (2022). Uluslararası Ticarete Lojistik Performansın İhracat Performansına Ve Firma Performansına Etkisi: Konya İlinde Bir Uygulama [The Effect of Logistics Performance on Export Performance and Company Performance in International Trade: An Application in Konya Province]. *The Journal of Social Economic Research*, 22(1), 17-29.
- Başar, S. İ., & Bozma, G. (2017). Ülkelerin lojistik performanslarının belirleyicileri [Determinants of Countries' Logistic Performances]. *Kafkas University Journal Of Institute of Social Sciences*, (20), 447-458.
- Bilgin, T. ve Kazancı Sunaoğlu, Ş. (2022). Lojistik Performans ve Uluslararası Ticaret İlişkisi Üzerine Alanyazın İncelemesi [A Literature Review on Logistics Performance and International Trade] *Pamukkale Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. 53. ss. 325-344.
- Bozdağlıoğlu, E., Y. & Keşir, B. (2022) Türkiye'de Lojistik Sektörünün Dış Ticarete Etkisi [The Impact Of Logistics Industry On Foreign Trade Turkey]. *Journal of Business and Economics Studies*, 10(1), 1-17.
- Bozkurt, C. & Mermertaş, F. (2019). Türkiye ve G-8 ülkelerinin lojistik performans endeksine göre karşılaştırılması [Comparison of Turkey and the G8 Countries According to the Logistics Performance Index]. *Journal of Business and Economics Studies*, 7(2): 107-118.
- Cansız, Ö. F. & Ünsalan, K. (2020). Yapay Zekâ ve İstatistiksel Yöntemler ile Küresel Ticarete Rekabet Ölçütü Olan Lojistik Performans İndeksine (LPI) Etken Parametrelerin Ülke Bazlı İncelenmesi ve Tahmin Modellerinin Geliştirilmesi [Prediction of Logistics Performance Index by Analysis of Effective Parameters on LPI Based on Countries, Which is Competition Criterion in Global Trade by Using Artificial Intelligence and Statistical Methods]. *Firat University Journal of Engineering Science*, 32(2), 571-582.
- Çubukçu, M. İ., & İmamoğlu, N. (2019). Lojistik Performansın, Firma Performansı ve İhracat Performansına Etkisi [The Effect of Logistics Performance on Company Performance and Export Performance]. *Journal of International Social Research*, 12(62).
- Erturgut, R., & Oğuz, S. (2022). Lojistik merkezlerin ihracata etkisi: AB ülkeleri üzerine yatay kesit veriler ile regresyon analizi [The Impact of Logistics Centers on Export: Regression Analysis with Horizontal Section Data on EU Countries]. *Journal of Aksaray University Faculty of Economics and Administrative Sciences*, 14(4), 423-430.
- Emel, G., G. & Taşkın, Ç. (2005). Veri madenciliğinde karar ağaçları ve bir satış analizi uygulaması [Decision Trees in Data Mining and A Sales Analysis Application] *Eskişehir Osmangazi University Journal of Social Sciences*, 6(2), 221-239.
- Güngör, Ş., Dursun, E., & Karaoğlan, A. (2019). Lojistik Faaliyetlerin Akdeniz Ülke Ekonomileri ile İlişkisi [The Relationship Between Logistics Activities and the Economy of Mediterranean Countries]. *Journal of Economic Policy Researches*, 6(2), 91-106.
- İrak, G. & Şen, H. (2021). Lojistik Maliyetler Ve Lojistik Performansın, Firma Ve İhracat Performansına Etkisinin Analizi [Analysis of the Effects of Logistics Costs and Logistics Performance on Firm and Export Performance] *Journal of Accounting and Taxation Studies*, 14(3), 1109-1131.
- Karaköy, Ç., & Üre, S. (2019). Yüksek Ve Orta Gelirli Ülkelerde Büyüme Ve Lojistik Performans Endeksi Arasındaki İlişki [The Relationship Between Growth and Logistics Performance Index in High and Middle-Income Countries]. *Al -Farabi 4. International Congress of Social Sciences*, 475-480.
- Koca, M. (2021). Lojistik Sektörünün Dış Ticaret Gelişimi Üzerine Etkisinin İncelenmesi: Türkiye Örneği [Investigation of the Impact of the Logistics Sector on Foreign Trade Development: The Case Of Turkey]. *Mersin University Journal of Maritime and Logistics Research*, 3(1), 40-62.
- Korkut, Y., Yavuz, S., & Zeren, F. (2021). Uluslararası Ticaret ve Lojistik Arasındaki İlişkinin İncelenmesi: G20 Ülkeleri Örneği [The Investigation

- of Relationship Between International Trade and Logistics: An Example Of G20 Countries]. *International Journal of Economics and Administrative Studies*, (30), 77-88.
- Koyuncu, G. (2022). Lojistik Performans Endeksi ve Alt Bileşenleri: Türkiye Örneği. *Social Sciences Studies Journal (SSSJournal)*, 8(97), 1409-1414.
- Manavgat, G., & Demirci, A. (2021). Lojistik Performans Endeksi Tutarlılığının Sıralı Lojistik Regresyon Modeliyle İncelenmesi [Investigation of Consistency of Logistics Performance Index Using Ordered Logistic Regression Model]. *Journal of Yaşar University*, 16(64), 1856-1871.
- Meşin, K., & Cura, F. (2022). Türkiye Dış Ticaretinin Lojistik Performans Çerçevesinde Değerlendirilmesi [Evaluation of Turkey's Foreign Trade in The Framework Of Logistics Performance]. *The Journal Of Social Economic Research*, 22(2), 139-149.
- Ofluoğlu, N. Ö., Kalaycı, C., Artan, S., & Bal, H. Ç. (2018). Lojistik performansındaki gelişmelerin uluslararası ticaret üzerindeki etkileri: AB ve MENA ülkeleri örneği [The Effects Of Developments in Logistic Performance on International Trade: The Case Of EU and Mena Countries]. *Gümüşhane University Journal of Social Sciences*, 9(24), 92-109.
- Pekmezci, M., & Mutlu, M. (2018). Türkiye'yi Konu Alan" Lojistik Performans İndeksi" Çalışmalarına Yönelik Bibliyometrik Bir Analiz. *In IV. International Caucasus-Central Asia Foreign Trade and Logistics Congress*, Didim/Aydın.
- Pinar, A., & Diken, A. (2020). Lojistik Performans Endeksi Kapsamında Lojistik Üslerin Türkiye Ekonomisine Etkisi Üzerine Bir İnceleme [A Review on the Impact of Logistics Bases on Turkish Economy Within the Scope Of Logistics Performance Index]. *Istanbul Ticaret University Journal of Social Sciences*, 19(39), 1384-1406.
- Şimşek, T., & Yiğit, E. (2019). Lojistik Performans ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki: Orta-Doğu Avrupa Ülkeleri ve Türkiye Örneği [The Relationship Between Logistics Performance and Economic Growth: Example of Central and Eastern Europe Countries and Turkey]. *Journal of International Management Educational and Economics Perspectives*, 7(2), 169-177.
- Uğurlu, S. & Keser, E. (2020). Dış Ticaretin Gelişiminde Lojistik Sektörünün Rolü: Ekonometrik Bir Analiz [The Role Of The Logistics Sector In The Development Of Foreign Trade: An Econometric Analysis]. *International Social Mentality and Researcher Thinkers Journal*, (Issn:2630-631X) 6(37): 2061-2069.
- World Bank (2023). World Development İndicator. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators> (Erişim tarihi; 20.08.2023)

How cite this article

Turna, Y. (2024). Impact of countries' logistics performance on their exports: The case of G-8 countries. *Journal of Transportation and Logistics* 9(1), 60-67. <https://doi.org/10.26650/JTL.2024.1353603>

An Evaluation of the logistics Performance Index Using the ENTROPY-based ORESTE Method

Deniz Çıray¹ , Ümit Özdemir² , Süleyman Mete³ 

¹(Master Student), Gaziantep University, Department of Industrial Engineering, Gaziantep, Türkiye

²(Lecturer), Munzur University, Tunceli Vocational School, Department of Management and Organization, Tunceli, Türkiye

³(Assoc. Prof. Dr.), Gaziantep University, Department of Industrial Engineering, Gaziantep, Türkiye

ABSTRACT

Logistics performance measurement has become increasingly important for countries as the competitive environment has increased. For this purpose, the World Bank has begun publishing logistics performance index (LPI) reports. The LPI ranking of countries is determined by the experts' scoring system. By re-analyzing this scoring and reevaluating it without the need for expert opinion, this study analyzed the evaluation of country rankings according to criteria weights from several different angles. This study aims to provide a detailed analysis of the World Bank's 2023 report using the ENTROPY-based ORESTE method, which has not previously been used in LPI evaluation and provides a more accurate and robust approach to the research. Although several studies have explored this similar topic in the literature, using a new method and comparing the criteria weights by including them in the analysis gave the present study a broader perspective. LPI analysis is an important tool for assessing and improving a country's competitiveness, and it can help investors compare logistics infrastructure and processes across countries. This can help stakeholders to better plan and make direct investments. Logistics researchers can use the LPI to examine sectoral and economic trends and forecast future developments. Furthermore, the LPI can be used in academia to train and raise awareness about assessment, logistics, and supply chain management programs. This is an important resource for training future logistics professionals and managers and providing policymakers and practitioners with a more refined tool for identifying areas for improvement and investment in logistics infrastructure.

Keywords: Logistics performance index, World Bank, ENTROPY, ORESTE

1. Introduction

The globalization of the economy, increased product and market diversity, and internationalization of trade have all contributed to the growing importance of the logistics sector. Logistics is inextricably linked to the economy because it encompasses the activities involved in effectively organizing all types of material and information flows from production to consumption. Therefore, logistics activities have evolved into an important tool for countries and regions seeking economic superiority and competitiveness. Hence, logistics has emerged as the most important issue and need nationwide and worldwide. In addition to a commercial approach, logistics, which is an important need, has introduced the concept of a logistics performance index (LPI). Logistics can be defined as the process of delivering resources such as products, services, and people where and when they are required. Without logistics support, establishing a marketing or production organization is extremely challenging. Logistics combines transportation, inventory, storage, material handling, and packaging information. The logistics business is responsible for the geographical location of the raw material, the operation of the process, and the completion of the work by meeting the needs at the lowest possible cost (Hayaloğlu, 2015).

Logistics is derived from the Greek word "logisticos," which means "the science of calculating," "book making," or "the skill of calculation" (Koban and Keser, 2007). Turkish logistics is derived from the Greek word *logistikos*. This term is known as *logistique* in French, *unterbringungswesen* in German, and logistics in English (Sürmen and Aygün, 2006). Logistics is "the process of strategically managing the procurement, movement, and storage of materials, products, and finished inventory through the organization and marketing channels in such a way as to maximize current and future profitability, while ensuring cost efficiency in fulfilling orders" (Christopher, 2011).

Corresponding Author: Süleyman Mete **E-mail:** smete@gantep.edu.tr

Submitted: 14.02.2024 • **Revision Requested:** 01.03.2024 • **Last Revision Received:** 15.03.2024 • **Accepted:** 15.03.2024 • **Published Online:** 04.04.2024



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

The logistics business area covers all processes, from product and service supply to customer delivery. Its main purpose is to ensure effective product or service management and orderly operation of each stage of the supply chain. The World Bank's LPI study shows that countries have better logistics infrastructure. It also presents the issues they face and the qualifications they possess. The LPI is a multifaceted and comprehensive index developed for evaluation purposes. The first LPI study, conducted in 2007, used seven criteria, with six criteria used in subsequent years (Gergin and Baki, 2015). This index is used to assess a country's supply chain management effectiveness. The LPI is used to compare countries around the world, determining whether logistics operations are efficient and effective. This index is important for understanding, improving, and comparing a country's trade and economic performance. Countries with a high LPI score typically have more effective logistics processes and can compete in international trade. The LPI provides detailed information on the logistics environment, basic logistics processes and organizations, as well as countries' time and cost performance. Furthermore, LPI plays a role in revealing the countries' logistics-related problems, reform priorities in public-private sector dialogue, tracking time-sensitive developments, and implementing reforms as soon as possible.

This study used the ENTROPY method, which is an objective method for weighting criteria in World Bank data. It served as the study's decision matrix; no subjective data was required. After the criteria have been weighted, the Organization, Rangement Et Synthese De Donnes Relationnelles (ORESTE) method, which has not previously been applied to LPIs for ranking, will be used to analyze the ranking of countries more rigorously. For the first time in the literature, the evaluation of LPIs with ENTROPY-based ORESTE to evaluate LPIs has strengthened the study. After using an objective method like ENTROPY and determining the criteria weights, the goal was to evaluate from a new perspective using a method like ORESTE, which has not been studied much in the literature.

The remaining sections of the paper are as follows. Section 2 analyzes the literature review, including studies on the ENTROPY method and the LPI. Section 3 discusses the study's methodology, including steps from the ENTROPY and ORESTE methods and the proposed integrated approach. Section 4 uses data from the World Bank's (2023) LPI to prioritize criteria and classify countries. It also includes a sensitivity analysis. Finally, Section 5 presents the concluding remarks and future recommendations.

2. Literature Review on Applied Methodology

This section provides a literature review of the tools and techniques of multi-criterion decision-making (MCDM), specifically ENTROPY and ORESTE. This section consists of three subsections. First, the following subsections discuss the widely applicable ORESTE method. Subsequently, the literature on the ENTROPY method is discussed. Finally, the literature on using the MCDM to apply the LPI is presented.

Jafari (2013) assessed the ORESTE and Shannon's ENTROPY methods, prioritizing identified risks based on their frequency of occurrence, the impact they will have after the occurrence, and the likelihood of detection before the incident. Xingli and Huchang (2018) proposed a multi-expert MCDM to solve the problem of selecting creative and innovative product designs. They combined an enhanced quality function deployment method with a complicated fuzzy linguistic representation model, probabilistic linguistic term set, and ORESTE ranking method. Liao et al. (2018) proposed a new MCDM that is motivated by the ORESTE method. They developed a new global preference score function to aggregate the criterion weights and values, expressed as hesitant fuzzy linguistic elements. Meanwhile, Chatterjee and Chakraborty (2013) studied the almost unexplored MCDM ORESTE and used it to solve five AMS selection problems. For assessing thermal comfort in underground mines, Luo et al. (2019) found a suitable methodology. Meanwhile, Adalı and Işık (2017) used the ORESTE methodology to select a web design firm.

For the ENTROPY method, some notable studies are as follows: Jamin et al. (2019) proposed a multiscale cross-entropy measure to analyze the dynamical characteristics of the coupling behavior between two sequences at multiple scales. Zhao et al. (2018) chose primarily from the function of ecosystem factors and natural environmental factors associated with residents' daily lives. The ENTROPY method was used to calculate the weights of the indicators. The results show that western China is significantly more vulnerable than eastern China. Meanwhile, Al-Aomar (2010) investigated the problem of determining subjective and objective criteria weights by combining the AHP and Shannon's ENTROPY methods. Levy et al. (2017) developed a tool for performing analytic continuation of spectral functions using the maximum ENTROPY method. Shao et al. (2016) used the TOPSIS-ENTROPY method to construct an index system of urban sustainable development that includes three aspects: society, economy, and environment. According to Jüngel (2015), the key idea is to use a transformation of variables determined by the ENTROPY density, which is defined by the gradient-flow formulation.

The final section includes studies that take into account the LPI index. For instance, Göçer et al. (2022) developed a methodological framework for recommending logistics policies to improve specific countries' LPI scores. Beysenbaev et al. (2020) proposed improvements to the World Bank's current LPI. The LPI is based on a global survey of logistics experts, which may bias toward a subjective view of various countries' logistics systems, resulting in a potentially skewed rating. Atalan (2020) calculated the LPI values for the next period by comparing the current LPI values of OECD members. Bozkurt and Mermertaş (2019) studied

logistics performance by comparing the performance of the G8 countries and Turkey to identify and analyze the advantages and disadvantages of the countries. Although the study reveals the countries' advantages and disadvantages, it also provides recommendations for these countries. Ulutaş and Karaköy (2019) used World Bank data in their analysis, which included MCDM techniques. Karaköy and Ölmez (2019) studied logistics in Balkan countries to analyze performance. In their study, logistics were used to analyze the performance index, MCDM, ENTROPY, and OCRA techniques. Rezaei et al. (2018) studied the evaluation of the LPI and the effect of indicators on LPI using the best–worst indicator weight analysis. Moreover, Ayaydın et al. (2017) used the Gray Relational Analysis Method to assess the financial performance of ten logistics companies from the Fortune Turkey magazine's top 500 list. Başar and Bozma (2017) used pooled panel data analysis to study LPI's macroeconomic and political determinants in 71 countries during the period. Using LPI and component data, Yapraklı and Ünalın (2017) analyzed Turkey's logistics performance over the last decade. Ozceylan et al. (2016) studied the methodology of a multi-criterion decision logistic performance based on GIS to evaluate provinces in Turkey. Marti et al. (2014) used the center of gravity approach to assess the importance of the LPI in international trade, predicting that any improvement in the index for developing countries would lead to increased trade. Çakır and Perçin (2013) used CRITIC, SAW (Simple Additive Weighting), TOPSIS, and VIKOR methods to assess the financial performance of ten logistics companies from Fortune Turkey magazine's top 500 list. To integrate the obtained rankings, the Borda counting method was employed.

The results of the literature review, the fact that the ORESTE method is currently not widely used, and the use of the ENTROPY-based ORESTE method for the first time in the literature have added a more objective approach to the paper.

3. Methodology

The ENTROPY method was used as an objective and powerful method for criteria weighting, and the country rankings were analyzed by incorporating them into the ORESTE method, which used the criteria weights found here.

3.1. ENTROPY

Rudolph Clausius first defined ENTROPY, the second law of thermodynamics, in 1965 as a measure of disorder and uncertainty in a system (Zhang-Gu et al., 2011). The concept of ENTROPY, which is now widely used in mathematics and engineering sciences, particularly in physics, was applied to information theory by Shannon (1948). The ENTROPY method is used to measure the amount of useful information provided by the available data (Wu-Sun et al. 2011), and it consists of four steps (Johansson et al., 2014).

Step 1: To eliminate the effects of different index dimensions in the decision matrix on the disparity, various methods can standardize the indices. According to the benefit and cost indices, the criteria are normalized using Equations (1) and (2).

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}} (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n) \quad (1)$$

$$r_{ij} = \frac{\min x_{ij}}{x_{ij}} (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n) \quad (2)$$

Step 2: To eliminate outliers in different units of measurement, P_{ij} is calculated by normalization.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^n x_{ij}} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

i: alternatives,

j: criteria

r_{ij} : normalized values

x_{ij} : given utility values

Step 3: In this step, the ENTROPY of E_j is calculated with the help of Equation (4).

$$E_j = -h \sum_{i=1}^m r_{ij} \ln(r_{ij}), j = 1, 2, \dots, h = \frac{1}{\ln(m)} \quad (4)$$

$r_{ij} \ln(r_{ij})$ is defined 0 if $r_{ij} = 0$

h: $(\ln(n)) - 1$ k: ENTROPY coefficient

E_j : ENTROPY value P
 ij : normalized values

Step 4: In Step 4, the uncertainty d_j is calculated using Equation (5).

$$D_j = 1 - E_j; \forall j \tag{5}$$

Step 5: With the help of Equation (6), the w_j weights are calculated as the level of importance of the criterion w_j .

$$W_j = \frac{D_j}{\sum_{j=1}^n D_j}, j = 1, 2, \dots n \tag{6}$$

3.2. ORESTE

One of the relationship-based ranking methods is ORESTE, which means senior, important, or favored. The ORESTE method has been used in the literature for agricultural decision problems such as material selection (Chatterjee et al., 2012), rehabilitation projects (Eliseo, 2009), port ranking (Jafari et al., 2013), landmine detection strategy selection (Leener et al., 2002), and risk prioritization (Jafari et al., 2013). In the ORESTE method, the finite set $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ has n elements defined as a set of alternatives, and the alternatives are defined as the set of k elements. $C = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$ is assessed using a set of criteria. The relative importance of criteria preorder, weak preorder, or weak preorder instead of weights in determining the preference structure known as weak order (Pastijn et al., 1989). $S = (P \text{ or } I)$ denotes the criteria in the preliminary ranking. P (preference), the asymmetric criterion, expresses preference for the other criterion; I (indifference), which expresses preference for the criterion and a symmetric relationship, indicates no difference between the other criterion. ORESTE solves decision-making problems in two stages (Eliseo et al., 2009).

- Based on the order of criteria and the order of alternatives depending on the criteria, and the full global preliminary ranking of alternatives (ORESTE I)
- 2. Following the contradiction and indifference analyses, the alternatives are considered to create a partial preliminary ranking (ORESTE II).

The ORESTE method establishes a weak preference structure for classification for each criterion ($j = 1, 2, \dots, k$) during the analysis phase. The final objective is to show the results of evaluating the alternatives on a global scale based on each criterion to establish the preference structure.

An example of each stage of the ORESTE method is shown below.

Determination of the decision problem: $A = \{a_1, a_2, a_3\}$ The set will be evaluated over the set of 4 criteria $C = \{c_1, c_2, c_3, c_4\}$.

Determination of relative importance by preliminary ranking: First, a weak ranking preference structure will be created to determine the relative importance of the criteria. The criteria will be ranked in order of importance from higher to lower in this step, and the relationships between the criteria will be expressed symmetrically/asymmetrically. The criteria's ranking and relationships are as follows when shown,

$$c_1 P c_2 I c_3 P c_4$$

The most and least important criteria are c_1 and c_4 , respectively; c_2 and c_3 criteria are not superior to each other. Similarly, the relative importance of alternatives is determined as follows:

$$\begin{aligned} c_1: & a_1 P a_2 I a_3 \\ c_2: & a_2 P a_3 P a_1 \\ c_3: & a_1 I a_2 I a_3 \\ c_4: & a_3 I a_1 P a_2 \end{aligned}$$

According to criterion c_1 , the alternatives are ranked as a_1, a_2 , and a_3 . Moreover, the relationship between the criteria is expressed as " a_1 is superior to a_2 , a_2 and a_3 are of equal importance."

Determination of Besson Rank values: After determining the relative importance of the criteria and alternatives through

preliminary ranking, Besson Rank values must be calculated in order to digitize the evaluations for use in the analysis. Besson Rank (Besson, 1975) is a classification system named after Besson, which he developed in 1975. The Besson rank system is based on assigning rank values to criteria and alternatives in order of importance. If there is no superiority between the criteria/alternatives (I, if there is a symmetric relationship), Besson rank values are calculated by taking the arithmetic mean of the ranks of the criteria/alternatives, resulting in the same value for each. For example, it has the same importance as the first-ranked criterion.

For another criterion ranked second, the Besson rank values are $(1 + 2)/2 = 1.5$.

The Besson rank values of the criteria are expressed as $r(ci)$, while the Besson rank value of the alternative j an evaluated using the ci criterion is expressed as $rci(aj)$. According to this representation, the Besson rank values computed for the sample problem are:

$$\begin{aligned}
 r(c1)=1 \quad r(c2)=2,5 \quad r(c3)=2,5 \quad r(c4)=4 \\
 rc1(a1)=1 \quad rc1(a2)=2,5 \quad rc1(a3)=2,5 \\
 \dots\dots\dots \\
 rc4(a3)=1,5 \quad rc4(a1)=1,5 \quad rc4(a2)=3
 \end{aligned}$$

Calculation of projection distances: Based on the criterion/alternative rank value, projection distances allow one to determine the relative position of alternatives with respect to a chosen origin point. Many methods exist for calculating projection distances. Pastijn and Leysen’s (1989) study on R A projection distance calculation method that varies depending on the value of the proposed methodology. Using this method, R becomes

- $R \in R_0$
 - R = 1: Average rank (Weighted arithmetic mean)
 - R = -1: Rank based on harmonic mean
 - R = 2: Rank based on quadratic mean
 - $R = -\infty : \min (r(ci) , rci(aj))$
 - $R = +\infty : \max (r(ci) , rci(aj))$
- Projection distances that vary for different R values,

$$DRi(aj) = \left[\frac{1}{2} \times rc_i^R + \frac{1}{2} \times rc_i(a_j^R) \right]^{\frac{1}{R}} \tag{7}$$

is calculated with the equation. In this study, the average rank method was used in the calculation (R = 1). Meanwhile, The place in the projection distance of the sample problem is calculated according to criterion c1 for alternative a1, $r(c1) = 1$ and using the parameters $rc1(a1) = 1$,

$$D_1(a_1) = \frac{1}{2} \times (1+1)=1$$

will be calculated as.

Determination of global ranks: The step of determining global rankings is the assignment of Besson rank values to all projection distances. The projection distances calculated in the previous step have Besson rank values based on the order in which they are located.

Determination of average ranks: In the step of calculating average ranks, the global rank obtained in the previous step is added to each alternative. To calculate average ranks, we use the following equation:

$$r(aj) = \sum_{i=1}^m ri(aj) \tag{8}$$

No additional processing is required because the average ranks obtained are interpreted solely based on ranking. The average ranks obtained are ranked from smallest to largest, and the alternatives’ rankings are obtained based on the decision maker.

3.3. Integrated Approach

The proposed approach incorporates the ENTROPY and ORESTE methods. ENTROPY was used to find the weights of the criteria in the first stage of the approach, and the weights of each criterion were found. The ORESTE method first normalized the decision matrix, and then found the weight classification of the normalized matrix’s criteria. The next step assigned the sum of the global rankings for each alternative, and the final step obtained the global ranking of each alternative. The criteria weights found in ENTROPY are used in the Bayer rank after the decision matrix is normalized, and the ORESTE method determines the criteria weight rankings. Figure 1 shows the flow chart for the integrated method.

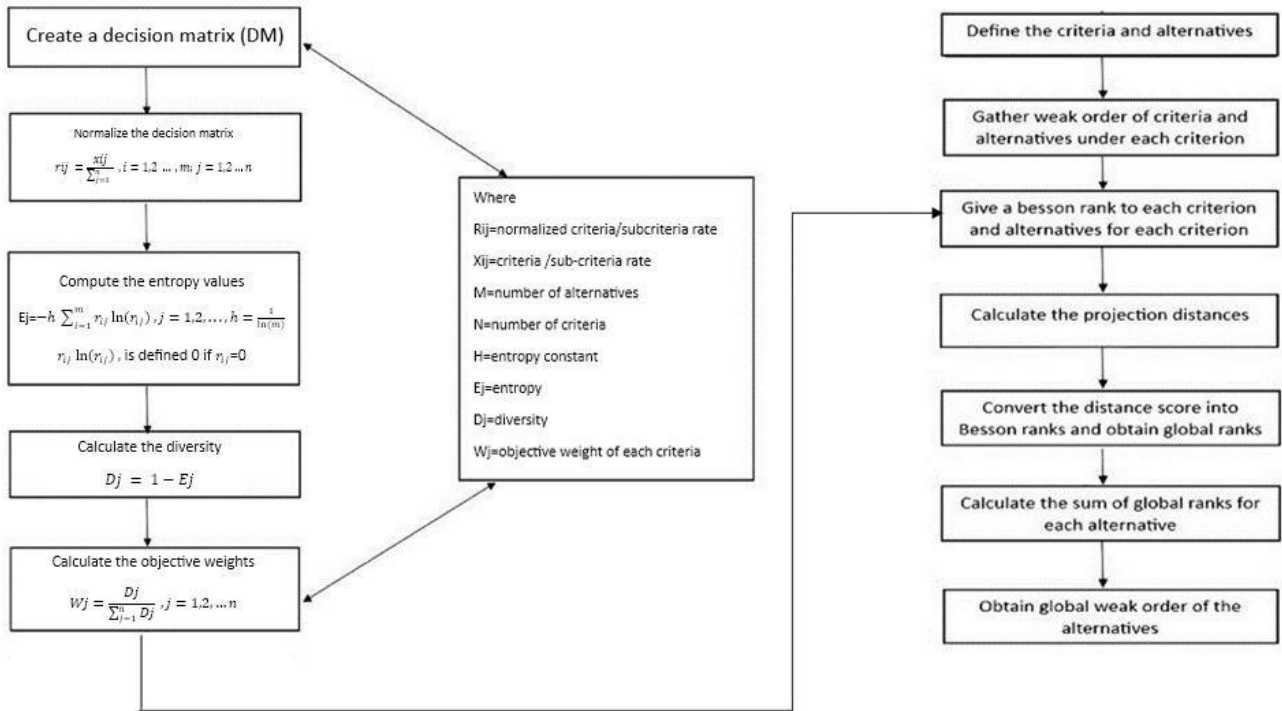


Figure 1. The framework of the proposed ENTROPY-based ORESTE method

4. Application

4.1. World Bank’s Logistic Performance Index (2023) Data

The 2023 LPI survey ran from September 6 to November 5, 2022. It contains 4,090 country assessments completed by 652 logistics professionals from 115 countries across the World Bank’s regions. Unlike previous editions, the 2023 survey did not include questions about logistics quality in the country from which these professionals operate or an assessment of domestic performance to keep the survey concise and easy to answer. The team also encountered difficulties surveying 2020/2021 due to the COVID-19 pandemic, ultimately postponing it until 2022 (World Bank Report 2023).

The World Bank’s LPI analyzes countries through six criteria:

1. Customs (p_1)
2. Infrastructure (p_2)
3. International shipments (p_3)
4. Logistic competence and equality (p_4)
5. Timeliness (p_5)
6. Tracking and tracking (p_6)

4.2. Ranking the Countries

The World Bank 2023 data served as a decision matrix. Table 1 shows the weights of the criteria obtained using the ENTROPY method. The determined criterion weights were ranked using the logic of the ORESTE method, with the largest criterion coming first, and the close values were assigned the arithmetic mean value. The decision matrix (Table 2) was then normalized, the weight ranking of the criteria was obtained, and the Bessian rank was found in the following step. Moreover, to find the Bessian rank, each country received a rank (Table 3).

Table 1. Criteria weight obtained by the ENTROPY method

Criteria	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆
Values	0,185226	0,224795	0,121313	0,169444	0,184529	0,114692636

Table 2. Decision matrix

Country	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	Country	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	Country	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	Country	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	
Singapore	4,2	4,6	4	4,4	4,4	4,3	Iceland	3,7	3,6	3,3	3,5	3,7	3,6	Cyprus	2,9	2,8	3,1	3,2	3,4	3,5	Sri Lanka	2,5	2,4	2,8	2,7	3	3,3	
Finland	4	4,2	4,1	4,2	4,2	4,3	Ireland	3,4	3,5	3,6	3,6	3,7	3,7	Hungary	2,7	3,1	3,4	3,1	3,4	3,6	Bahamas	2,7	2,5	3,1	2,5	2,6	3	
Denmark	4,1	4,1	3,6	4,1	4,3	4,1	Israel	3,4	3,7	3,5	3,8	3,7	3,8	Kuwait	3,2	3,6	3,2	2,9	3,3	2,8	Belarus	2,6	2,7	2,6	2,6	2,6	3,1	
Germany	3,9	4,3	3,7	4,2	4,2	4,1	Luxembourg	3,6	3,6	3,6	3,9	3,5	3,5	Romania	2,7	2,9	3,4	3,3	3,5	3,6	Djibouti	2,6	2,3	2,5	2,8	2,7	3,6	
The Netherlands	3,9	4,2	3,7	4,2	4,2	4	Malaysia	3,3	3,6	3,7	3,7	3,7	3,7	Botswana	3	3,1	3	3,4	3	3,3	El Salvador	2,4	2,2	2,6	2,7	2,9	3,2	
Switzerland	4,1	4,4	3,6	4,3	4,2	4,2	New Zealand	3,4	3,8	3,2	3,7	3,8	3,8	Egypt, Arab Rep.	2,8	3	3,2	2,9	2,9	3,6	Georgia	2,6	2,3	2,7	2,6	2,8	3,1	
Austria	3,7	3,9	3,8	4	4,2	4,3	Poland	3,4	3,5	3,3	3,6	3,8	3,9	North Macedonia	3,1	3	2,8	3,2	3,2	3,5	Kazakhstan	2,6	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	
Belgium	3,9	4,1	3,8	4,2	4	4,2	Bahrain	3,3	3,6	3,1	3,3	3,4	4,1	Panama	3	3,3	3,1	3	2,9	3,4	Papua New Guinea	2,4	2,4	2,6	2,7	3	3,3	
Canada	4	4,3	3,6	4,2	4,1	4,1	Latvia	3,3	3,3	3,2	3,7	3,6	4	Bosnia and Herzegovina	2,7	2,6	3,1	2,9	3,2	3,2	Paraguay	2,4	2,5	2,7	2,6	2,8	3	
Hong Kong SAR, China	3,8	4	4	4	4,2	4,1	Qatar	3,1	3,8	3,1	3,9	3,6	3,5	Chile	3	2,8	2,7	3,1	3	3,2	Ukraine	2,4	2,4	2,8	2,6	2,6	3,1	
Sweden	4	4,2	3,4	4,2	4,1	4,2	Thailand	3,3	3,7	3,5	3,5	3,6	3,5	Indonesia	2,8	2,9	3	2,9	3	3,3	Bangladesh	2,3	2,3	2,6	2,7	2,4	3	
United Arab Emirates	3,7	4,1	3,8	4	4,1	4,2	India	3	3,2	3,5	3,5	3,4	3,6	Peru	2,6	2,5	3,1	2,7	3,4	3,4	Congo, Rep.	2,3	2,1	2,6	2,9	2,7	2,9	
France	3,7	3,8	3,7	3,8	4	4,1	Lithuania	3,2	3,5	3,4	3,6	3,1	3,6	Uruguay	2,9	2,7	2,7	3,1	3,3	3,2	Dominican Republic	2,6	2,7	2,4	2,6	2,4	3,1	
Japan	3,9	4,2	3,3	4,1	4	4	Portugal	3,2	3,6	3,1	3,6	3,2	3,6	Antigua and Barbuda	2,2	2,7	2,9	2,9	3,2	3,4	Guatemala	2,3	2,4	2,8	2,7	2,7	2,6	
Spain	3,6	3,8	3,7	3,9	4,1	4,2	Saudi Arabia	3	3,6	3,3	3,3	3,5	3,6	Benin	2,7	2,5	2,9	3	3,2	2,7	Guinea-Bissau	2,7	2,4	2,9	2,9	2,3	2,4	
Taiwan, China	3,5	3,8	3,7	3,9	4,2	4,2	Türkiye	3	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6	Colombia	2,5	2,9	3	3,1	3,1	3,2	Mali	2,6	2	2,6	2,5	2,7	3,1	
Korea, Rep.	3,9	4,1	3,4	3,8	3,8	3,8	Croatia	3	3	3,6	3,4	3,4	3,2	Costa Rica	2,8	2,7	2,8	2,9	2,9	3,2	Nigeria	2,4	2,4	2,5	2,3	2,7	3,1	
United States	3,7	3,9	3,4	3,9	4,2	3,8	Czech Republic	3	3	3,4	3,6	3,2	3,7	Honduras	2,8	2,7	3	2,7	2,6	3,2	Russian Federation	2,4	2,7	2,3	2,6	2,5	2,9	
Australia	3,7	4,1	3,1	3,9	4,1	3,6	Malta	3,4	3,7	3	3,4	3,4	3,2	Mexico	2,5	2,8	2,8	3	3,1	3,5	Uzbekistan	2,6	2,4	2,6	2,6	2,4	2,8	
China	3,3	4	3,6	3,8	3,8	3,7	Oman	3	3,2	3,4	3,2	3,9	3,1	Namibia	2,8	2,8	3	2,9	2,8	2,9	Albania	2,4	2,7	2,8	2,3	2,3	2,5	
Greece	3,2	3,7	3,8	3,8	3,9	3,9	Philippines	2,8	3,2	3,1	3,3	3,3	3,9	Argentina	2,7	2,8	2,7	2,7	2,9	3,1	Algeria	2,3	2,1	3	2,2	2,5	2,6	
Italy	3,4	3,8	3,4	3,8	3,9	3,9	Slovak Republic	3,2	3,3	3	3,4	3,3	3,5	Montenegro	2,6	2,5	2,8	2,8	3,2	3,2	Armenia	2,5	2,6	2,2	2,6	2,3	2,7	
Norway	3,8	3,9	3	3,8	3,7	4	Slovenia	3,4	3,6	3,4	3,3	3	3,3	Rwanda	2,5	2,9	2,4	3	3	3,1	Bhutan	2,7	2,2	2,3	2,6	2,3	2,6	
South Africa	3,3	3,6	3,6	3,8	3,8	3,8	Vietnam	3,1	3,2	3,3	3,2	3,4	3,3	Serbia	2,2	2,4	2,9	2,7	2,9	3,4	Central African Republic	2,4	2,6	2,1	2,9	2,4	2,6	
Congo, Dem. Rep.	2,3	2,3	2,5	2,4	2,5	2,8	Togo	2,3	2,3	3	2,4	2,3	2,8	Sudan	2,1	2,3	2,4	2,4	2,3	2,7	Cuba	2	2,2	2,1	2,2	2,4	2,6	
Ghana	2,7	2,4	2,4	2,5	2,2	2,7	Trinidad and Tobago	2,2	2,4	2,5	2,4	2,5	2,9	Burkina Faso	2	2,3	2,4	2,4	2,2	2,4	Yemen, Rep.	1,7	1,9	1,7	2,6	2,3	2,8	
Grenada	2,6	2,5	2,6	2,2	2,3	3,1	Zimbabwe	2,2	2,4	2,5	2,3	2,7	2,8	Fiji	2,3	2,2	2,3	2,3	2,2	2,3	Angola	1,7	2,1	2,4	2,3	2,3	2,1	
Guinea	2,4	2,4	2,2	2,7	2,7	2,5	Bolivia	2,1	2,4	2,5	2,4	2,5	2,4	Gambia, The	1,8	2,3	2,6	2,3	2,4	2,6	Cameroon	2,1	2,1	2,2	2,1	1,8	2,1	
Jamaica	2,2	2,4	2,4	2,5	2,8	2,9	Cambodia	2,2	2,1	2,3	2,4	2,8	2,7	Iran, Islamic Rep.	2,2	2,4	2,4	2,1	2,4	2,7	Haiti	2,1	1,8	2,3	2	2,1	2,5	
Mauritius	2,4	2,5	1,9	2,5	2,9	3,1	Gabon	2	2,2	2,6	2	2,5	3	Kyrgyz Republic	2,2	2,4	2,4	2,2	2,3	2,4	Somalia	1,5	1,9	2,4	1,8	1,8	2,3	
Moldova	1,9	1,9	2,7	2,8	2,8	3	Guyana	2,3	2,4	2,1	2,6	2,2	2,6	Madagascar	1,8	1,8	2,9	2,2	2	2,6	Afghanistan	2,1	1,7	1,8	2	1,6	2,3	
Mongolia	2,5	2,3	2,5	2,3	2,4	2,7	Iraq	2,1	2,2	2,5	2,2	2,4	3	Mauritania	2,1	2	2,2	2,5	2,5	2,8	Libya	1,9	1,7	2	1,9	1,8	2,2	
Nicaragua	2	1,9	2,8	2,8	2,4	2,9	Lao PDR	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,8	Syrian Arab Republic	2,2	2,2	2,3	2,2	2,3	2,5	Venezuela, RB	2,1	2,4	2	2,5	2,3	2,5
Tajikistan	2,2	2,5	2,5	2,8	2	2,9	Liberia	2,1	2,4	2,8	2,4	2,4	2,3															

Table 3. The Bessian rank and total rank result.

Country	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	TOTAL	RANKING
Singapore	3,5	1	17	9	3,5	23	57	1
Finland	17	17	11,5	35,5	28,5	23	133	2
Denmark	9	50	111,5	59,5	6	88	324	7
Germany	45	6	69	35,5	28,5	88	272	4
The Netherlands	45	17	69	35,5	28,5	125,5	321	5
Switzerland	9	2	111,5	11,5	28,5	55,5	218	3
Austria	88	80	40,5	77	28,5	23	337	9
Belgium	45	50	40,5	35,5	96,5	55,5	323	6
Canada	17	6	111,5	35,5	69	88	327	8
Hong Kong SAR, China	61,5	69	17	77	28,5	88	341	10
Sweden	17	17	199,5	35,5	69	55,5	394	12
United Arab Emirates	88	50	40,5	77	69	55,5	380	11
France	88	111,5	69	133,5	96,5	88	587	16
Japan	45	17	240	59,5	96,5	125,5	584	15
Spain	119,5	111,5	69	101,5	69	55,5	526	14
Taiwan, China	128,5	111,5	69	101,5	28,5	55,5	495	13
Korea, Rep.	45	50	199,5	133,5	143	166	737	18
United States	88	80	199,5	101,5	28,5	166	664	17
Australia	88	50	319,5	101,5	69	249,5	878	21
China	190,5	69	111,5	133,5	143	211	859	20
Greece	229,5	143	40,5	133,5	122	152,5	821	19
Italy	160	111,5	199,5	133,5	122	152,5	879	22
Norway	61,5	80	379	133,5	171	125,5	951	26
South Africa	190,5	183	111,5	133,5	143	166	928	25
United Kingdom	128,5	143	152,5	176	96,5	211	908	23
Estonia	229,5	224,5	199,5	176	143	88	1061	30
Iceland	88	183	240	234,5	171	249,5	1166	33
Ireland	160	224,5	111,5	216	171	211	1094	31
Israel	160	143	152,5	133,5	171	166	926	24
Luxembourg	119,5	183	111,5	101,5	220,5	310	1046	29
Malaysia	190,5	183	69	176	171	211	1001	27
New Zealand	160	111,5	274,5	176	143	166	1031	28
Poland	160	224,5	240	216	143	152,5	1136	32
Bahrain	190,5	183	319,5	285	262,5	88	1329	37
Latvia	190,5	249,5	274,5	176	207	125,5	1223	34
Qatar	262,5	111,5	319,5	101,5	207	310	1312	36
Thailand	190,5	143	152,5	234,5	207	310	1238	35
India	295,5	279	152,5	234,5	262,5	249,5	1474	39
Lithuania	229,5	224,5	199,5	216	363	249,5	1482	41
Portugal	229,5	183	319,5	216	339,5	249,5	1537	42
Saudi Arabia	295,5	183	240	285	220,5	249,5	1474	39
Türkiye	295,5	237	199,5	234,5	220,5	249,5	1437	38
Croatia	295,5	326,5	111,5	270,5	262,5	434,5	1701	47
Czech Republic	295,5	326,5	199,5	216	339,5	211	1588	43

Table 3. Continued

	Malta	160	143	379	270,5	262,5	434,5	1650	45
<i>Oman</i>	295,5	279	199,5	330,5	122	502	1729	49	
	Philippines	358,5	279	319,5	285	295,5	152,5	1690	46
<i>Slovak Republic</i>	229,5	249,5	379	270,5	295,5	310	1734	50	
	Slovenia	160	183	199,5	285	394	387,5	1609	44
<i>Vietnam</i>	262,5	279	240	330,5	262,5	387,5	1762	51	
	Brazil	334	279	434,5	285	339,5	310	1982	55
<i>Bulgaria</i>	262,5	304	379	285	295,5	310	1836	53	
	Cyprus	334	367	319,5	330,5	262,5	310	1924	54
<i>Hungary</i>	402	304	199,5	351,5	262,5	249,5	1769	52	
	Kuwait	229,5	183	274,5	420	295,5	634,5	2037	58
<i>Romania</i>	402	345,5	199,5	285	220,5	249,5	1702	48	
	Botswana	295,5	304	379	270,5	394	387,5	2031	56
<i>Egypt, Arab Rep.</i>	358,5	326,5	274,5	420	447,5	249,5	2077	60	
	North Macedonia	262,5	326,5	475,5	330,5	339,5	310	2045	59
<i>Panama</i>	295,5	249,5	319,5	371,5	447,5	351,5	2035	57	
	Bosnia and Herzegovina	402	453,5	319,5	420	339,5	434,5	2369	63
<i>Chile</i>	295,5	367	531	351,5	394	434,5	2374	64	
	Indonesia	358,5	345,5	379	420	394	387,5	2285	61
<i>Peru</i>	460,5	485	319,5	519	262,5	351,5	2398	67	
	Uruguay	334	410,5	531	351,5	295,5	434,5	2357	62
<i>Antigua and Barbuda</i>	674,5	410,5	434,5	420	339,5	351,5	2631	70	
	Benin	402	485	434,5	371,5	339,5	687,5	2720	73
<i>Colombia</i>	510,5	345,5	379	351,5	363	434,5	2384	65	
	Costa Rica	358,5	410,5	475,5	420	447,5	434,5	2547	68
<i>Honduras</i>	358,5	410,5	379	519	556,5	434,5	2658	71	
	Mexico	510,5	367	475,5	371,5	363	310	2398	66
<i>Namibia</i>	358,5	367	379	420	493	603,5	2621	69	
	Argentina	402	367	531	519	447,5	502	2769	75
<i>Montenegro</i>	460,5	485	475,5	468	339,5	434,5	2663	72	
	Rwanda	510,5	345,5	700,5	371,5	394	502	2824	76
<i>Serbia</i>	674,5	568	434,5	519	447,5	351,5	2995	79	
	Solomon Islands	549	453,5	434,5	420	447,5	434,5	2739	74
<i>Sri Lanka</i>	510,5	568	475,5	519	394	387,5	2855	77	
	Bahamas, The	402	485	319,5	627	556,5	540,5	2931	78
<i>Belarus</i>	460,5	410,5	588,5	588,5	556,5	502	3107	82	
	Djibouti	460,5	664,5	643	468	531	249,5	3017	81
<i>El Salvador</i>	549	709	588,5	519	447,5	434,5	3248	87	
	Georgia	460,5	664,5	531	588,5	493	502	3240	85
<i>Kazakhstan</i>	460,5	485	588,5	519	493	603,5	3150	83	
	Papua New Guinea	549	568	588,5	519	394	387,5	3006	80
<i>Paraguay</i>	549	485	531	588,5	493	540,5	3187	84	
	Ukraine	549	568	475,5	588,5	556,5	502	3240	85
<i>Bangladesh</i>	619	664,5	588,5	519	653,5	540,5	3585	98	
	Congo, Rep.	619	751	588,5	420	531	603,5	3513	94

Table 3. Continued

	Malta	160	143	379	270,5	262,5	434,5	1650	45
<i>Oman</i>	295,5	279	199,5	330,5	122	502	1729	49	
	Philippines	358,5	279	319,5	285	295,5	152,5	1690	46
<i>Slovak Republic</i>	229,5	249,5	379	270,5	295,5	310	1734	50	
	Slovenia	160	183	199,5	285	394	387,5	1609	44
<i>Vietnam</i>	262,5	279	240	330,5	262,5	387,5	1762	51	
	Brazil	334	279	434,5	285	339,5	310	1982	55
<i>Bulgaria</i>	262,5	304	379	285	295,5	310	1836	53	
	Cyprus	334	367	319,5	330,5	262,5	310	1924	54
<i>Hungary</i>	402	304	199,5	351,5	262,5	249,5	1769	52	
	Kuwait	229,5	183	274,5	420	295,5	634,5	2037	58
<i>Romania</i>	402	345,5	199,5	285	220,5	249,5	1702	48	
	Botswana	295,5	304	379	270,5	394	387,5	2031	56
<i>Egypt, Arab Rep.</i>	358,5	326,5	274,5	420	447,5	249,5	2077	60	
	North Macedonia	262,5	326,5	475,5	330,5	339,5	310	2045	59
<i>Panama</i>	295,5	249,5	319,5	371,5	447,5	351,5	2035	57	
	Bosnia and Herzegovina	402	453,5	319,5	420	339,5	434,5	2369	63
<i>Chile</i>	295,5	367	531	351,5	394	434,5	2374	64	
	Indonesia	358,5	345,5	379	420	394	387,5	2285	61
<i>Peru</i>	460,5	485	319,5	519	262,5	351,5	2398	67	
	Uruguay	334	410,5	531	351,5	295,5	434,5	2357	62
<i>Antigua and Barbuda</i>	674,5	410,5	434,5	420	339,5	351,5	2631	70	
	Benin	402	485	434,5	371,5	339,5	687,5	2720	73
<i>Colombia</i>	510,5	345,5	379	351,5	363	434,5	2384	65	
	Costa Rica	358,5	410,5	475,5	420	447,5	434,5	2547	68
<i>Honduras</i>	358,5	410,5	379	519	556,5	434,5	2658	71	
	Mexico	510,5	367	475,5	371,5	363	310	2398	66
<i>Namibia</i>	358,5	367	379	420	493	603,5	2621	69	
	Argentina	402	367	531	519	447,5	502	2769	75
<i>Montenegro</i>	460,5	485	475,5	468	339,5	434,5	2663	72	
	Rwanda	510,5	345,5	700,5	371,5	394	502	2824	76
<i>Serbia</i>	674,5	568	434,5	519	447,5	351,5	2995	79	
	Solomon Islands	549	453,5	434,5	420	447,5	434,5	2739	74
<i>Sri Lanka</i>	510,5	568	475,5	519	394	387,5	2855	77	
	Bahamas, The	402	485	319,5	627	556,5	540,5	2931	78
<i>Belarus</i>	460,5	410,5	588,5	588,5	556,5	502	3107	82	
	Djibouti	460,5	664,5	643	468	531	249,5	3017	81
<i>El Salvador</i>	549	709	588,5	519	447,5	434,5	3248	87	
	Georgia	460,5	664,5	531	588,5	493	502	3240	85
<i>Kazakhstan</i>	460,5	485	588,5	519	493	603,5	3150	83	
	Papua New Guinea	549	568	588,5	519	394	387,5	3006	80
<i>Paraguay</i>	549	485	531	588,5	493	540,5	3187	84	
	Ukraine	549	568	475,5	588,5	556,5	502	3240	85
<i>Bangladesh</i>	619	664,5	588,5	519	653,5	540,5	3585	98	
	Congo, Rep.	619	751	588,5	420	531	603,5	3513	94

Table 3. Continued

	Malta	160	143	379	270,5	262,5	434,5	1650	45
<i>Oman</i>	295,5	279	199,5	330,5	122	502	1729	49	
	Philippines	358,5	279	319,5	285	295,5	152,5	1690	46
<i>Slovak Republic</i>	229,5	249,5	379	270,5	295,5	310	1734	50	
	Slovenia	160	183	199,5	285	394	387,5	1609	44
<i>Vietnam</i>	262,5	279	240	330,5	262,5	387,5	1762	51	
	Brazil	334	279	434,5	285	339,5	310	1982	55
<i>Bulgaria</i>	262,5	304	379	285	295,5	310	1836	53	
	Cyprus	334	367	319,5	330,5	262,5	310	1924	54
<i>Hungary</i>	402	304	199,5	351,5	262,5	249,5	1769	52	
	Kuwait	229,5	183	274,5	420	295,5	634,5	2037	58
<i>Romania</i>	402	345,5	199,5	285	220,5	249,5	1702	48	
	Botswana	295,5	304	379	270,5	394	387,5	2031	56
<i>Egypt, Arab Rep.</i>	358,5	326,5	274,5	420	447,5	249,5	2077	60	
	North Macedonia	262,5	326,5	475,5	330,5	339,5	310	2045	59
<i>Panama</i>	295,5	249,5	319,5	371,5	447,5	351,5	2035	57	
	Bosnia and Herzegovina	402	453,5	319,5	420	339,5	434,5	2369	63
<i>Chile</i>	295,5	367	531	351,5	394	434,5	2374	64	
	Indonesia	358,5	345,5	379	420	394	387,5	2285	61
<i>Peru</i>	460,5	485	319,5	519	262,5	351,5	2398	67	
	Uruguay	334	410,5	531	351,5	295,5	434,5	2357	62
<i>Antigua and Barbuda</i>	674,5	410,5	434,5	420	339,5	351,5	2631	70	
	Benin	402	485	434,5	371,5	339,5	687,5	2720	73
<i>Colombia</i>	510,5	345,5	379	351,5	363	434,5	2384	65	
	Costa Rica	358,5	410,5	475,5	420	447,5	434,5	2547	68
<i>Honduras</i>	358,5	410,5	379	519	556,5	434,5	2658	71	
	Mexico	510,5	367	475,5	371,5	363	310	2398	66
<i>Namibia</i>	358,5	367	379	420	493	603,5	2621	69	
	Argentina	402	367	531	519	447,5	502	2769	75
<i>Montenegro</i>	460,5	485	475,5	468	339,5	434,5	2663	72	
	Rwanda	510,5	345,5	700,5	371,5	394	502	2824	76
<i>Serbia</i>	674,5	568	434,5	519	447,5	351,5	2995	79	
	Solomon Islands	549	453,5	434,5	420	447,5	434,5	2739	74
<i>Sri Lanka</i>	510,5	568	475,5	519	394	387,5	2855	77	
	Bahamas, The	402	485	319,5	627	556,5	540,5	2931	78
<i>Belarus</i>	460,5	410,5	588,5	588,5	556,5	502	3107	82	
	Djibouti	460,5	664,5	643	468	531	249,5	3017	81
<i>El Salvador</i>	549	709	588,5	519	447,5	434,5	3248	87	
	Georgia	460,5	664,5	531	588,5	493	502	3240	85
<i>Kazakhstan</i>	460,5	485	588,5	519	493	603,5	3150	83	
	Papua New Guinea	549	568	588,5	519	394	387,5	3006	80
<i>Paraguay</i>	549	485	531	588,5	493	540,5	3187	84	
	Ukraine	549	568	475,5	588,5	556,5	502	3240	85
<i>Bangladesh</i>	619	664,5	588,5	519	653,5	540,5	3585	98	
	Congo, Rep.	619	751	588,5	420	531	603,5	3513	94

4.3. Comparison and Sensitivity Analysis

The thesis started with a more sensitive analysis of the World Bank report. This analysis aimed to assign different values to the criteria using MCDM and show that the ORESTE method provides a structured, rational, consistent, and more agile approach to decision problems. Each criterion was weighted according to the ENTROPY method. The ranking of 139 countries was analyzed using the ORESTE method after applying the ENTROPY method to find the criteria weights. Different criteria weights were used to demonstrate the method’s increased accuracy and agility. The decision matrix for the World Bank report was compiled. The ORESTE method’s first step was to assign a sequence number to the criteria. The decision matrix was then standardized, and all values were normalized between 0 and 1 using min (1) and max (5) values.

This subsection used a sensitivity analysis to validate the proposed approaches. To interpret the analysis more sensitively, the criterion weights were found using all the steps of the ENTROPY method, then another analysis was performed taking each criterion weight with equal importance to interpret it from a different perspective. Moreover, the criterion weights found in two different studies with Criteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC) and Step-Wise Weight Assesment Ratio Analysis (SWARA), which are different from the evaluations of the LPI made in the literature, were taken and analyzed using ORESTE to the criterion weights from four different angles (Table 4). First, the criteria weights were determined using the ENTROPY method. A second evaluation was carried out with equal weights assigned to each criteria. The third evaluation (Türkoğlu and Duran,2023) analyzed the criteria weights found by the CRITIC method in Regional Comprehensive Economic Partnership (RCEP) countries using MCDM. As a fourth evaluation (Kısa and Ayçin, 2019), the logistics performances of OECD countries were analyzed using the criteria weights found by the SWARA method.

Table 4. Criterion weights according to the cases considered

Considered Cases	Criterion Weights					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Base Case (by ENTROPY of current study)	0,185226	0,224795	0,121313	0,169444	0,184529	0,114693
Case 1: Equal value criteria weights	0,166667	0,166667	0,166667	0,166667	0,166667	0,166667
Case 2: Türkoğlu & Duran (2023)	0,27466	0,2957	0,27561	0,24949	0,27531	0,26886
Case 3: Kısa & Ayçin (2019)	0,14	0,195	0,173	0,2	0,134	0,151

Table 5. Results of the ranking orders of the country concerning four cases.

COUNTRIES	BASE CASE	CASE 1	CASE 2	CASE 3	COUNTRIES	BASE CASE	CASE 1	CASE 2	CASE 3	COUNTRIES	BASE CASE	CASE 1	CASE 2	CASE 3	COUNTRIES	BASE CASE	CASE 1	CASE 2	CASE 3
Singapore	1	1	1	1	Norway	26	26	26	26	Malta	45	45	45	45	Benin	73	74	73	73
Finland	2	2	2	2	South Africa	25	25	25	25	Oman	49	49	48	49	Colombia	65	66	65	64
Denmark	7	7	6	5	United Kingdom	23	23	23	23	Philippines	46	46	47	46	Costa Rica	68	68	68	68
Germany	4	4	4	4	Estonia	30	30	30	29	Slovak Republic	50	50	50	50	Honduras	71	71	71	72
The Netherlands	5	8	7	8	Iceland	33	33	33	33	Slovenia	44	44	44	44	Mexico	66	67	67	67
Switzerland	3	3	3	3	Ireland	31	31	31	31	Vietnam	51	51	52	51	Namibia	69	69	70	70
Austria	9	9	9	9	Israel	24	24	24	24	Brazil	55	55	55	55	Argentina	75	75	75	75
Belgium	6	5	5	7	Luxembourg	29	29	29	30	Bulgaria	53	53	53	53	Montenegro	72	72	72	71
Canada	8	6	8	6	Malaysia	27	27	27	28	Cyprus	54	54	54	54	Rwanda	76	76	76	76
Hong Kong SAR, China	10	10	10	10	New Zealand	28	28	28	27	Hungary	52	52	51	52	Serbia	79	80	79	80
Sweden	12	12	12	12	Poland	32	32	32	32	Kuwait	58	58	57	59	Solomon Islands	74	73	74	74
United Arab Emirates	11	11	11	11	Bahrain	37	37	37	37	Romania	48	48	49	48	Sri Lanka	77	77	77	77
France	16	15	16	16	Latvia	34	35	35	34	Botswana	56	56	56	58	Bahamas, The	78	78	78	78
Japan	15	16	15	15	Qatar	36	36	36	36	Egypt, Arab Rep.	60	60	60	60	Belarus	82	82	82	82
Spain	14	14	14	14	Thailand	35	34	34	35	North Macedonia	59	57	57	56	Djibouti	81	81	80	79
Taiwan, China	13	13	13	13	India	39	39	39	40	Panama	57	59	57	57	El Salvador	87	85	86	86
Korea, Rep.	18	18	18	18	Lithuania	41	41	40	39	Bosnia and Herzegovina	63	62	63	62	Georgia	85	86	85	85
United States	17	17	17	17	Portugal	42	42	42	42	Chile	64	64	64	66	Kazakhstan	83	83	83	83
Australia	21	22	22	22	Saudi Arabia	39	40	41	41	Indonesia	61	61	61	61	Paraguay	84	84	84	84
China	20	21	21	20	Türkiye	38	38	38	38	Peru	67	65	66	65	Ukraine	85	87	87	87
Greece	19	19	19	19	Croatia	47	47	46	47	Uruguay	62	63	62	63	Bangladesh	98	98	98	98
Italy	22	20	20	21	Czech Republic	43	43	43	43	Antigua and Barbuda	70	70	69	69	Papua New Guinea	80	79	81	81
Congo, Rep.	94	94	95	95	Congo, Dem. Rep.	111	111	111	111	Bolivia	118	120	117	118	Madagascar	128	128	128	129
Dominican Republic	88	88	88	88	Ghana	107	108	108	108	Cambodia	119	118	119	119	Mauritania	123	124	123	124
Guatemala	91	91	90	92	Grenada	97	96	97	96	Gabon	117	117	118	117	Syrian Arab Republic	131	132	131	132
Guinea-Bissau	89	89	89	89	Guinea	105	106	105	106	Guyana	121	121	121	121	Venezuela, RB	127	127	126	127
Mali	92	92	92	91	Jamaica	102	103	102	104	Iraq	120	119	120	120	Cuba	133	133	133	133
Nigeria	96	97	96	97	Mauritius	90	90	91	90	Lao PDR	116	116	116	116	Yemen, Rep.	129	129	130	128
Russian Federation	95	95	94	94	Moldova	100	100	100	99	Liberia	115	115	115	115	Angola	134	134	134	134
Uzbekistan	93	93	93	93	Mongolia	113	113	113	113	Sudan	125	125	125	125	Cameroon	136	136	136	136
Albania	101	102	103	101	Nicaragua	108	107	107	107	Burkina Faso	130	130	129	130	Haiti	135	135	135	135
Algeria	112	112	112	112	Tajikistan	103	101	101	103	Fiji	132	131	132	131	Somalia	137	137	137	137
Armenia	106	105	106	105	Togo	104	104	104	102	Gambia, The	124	123	124	123	Afghanistan	138	138	138	138
Bhutan	114	114	114	114	Trinidad and Tobago	110	109	109	109	Iran, Islamic Rep.	122	122	122	122	Libya	139	139	139	139
Central African Republic	99	99	99	100	Zimbabwe	109	110	110	110	Kyrgyz Republic	126	126	127	126					

Table 5 shows the country rankings analyzed with the ORESTE method using the proposed method (ENTROPY), the equal importance of each criterion, and the criterion weights of CRITIC and SWARA methods studied in the literature. The studies in the literature supported the proposed method, and the fact that there was no significant difference in country rankings demonstrated that the method was agile. Although the country rankings were unclear in the World Bank data, the methods used to rank each country differed. Libya had the lowest LPI score in each method, whereas Singapore showed the highest.

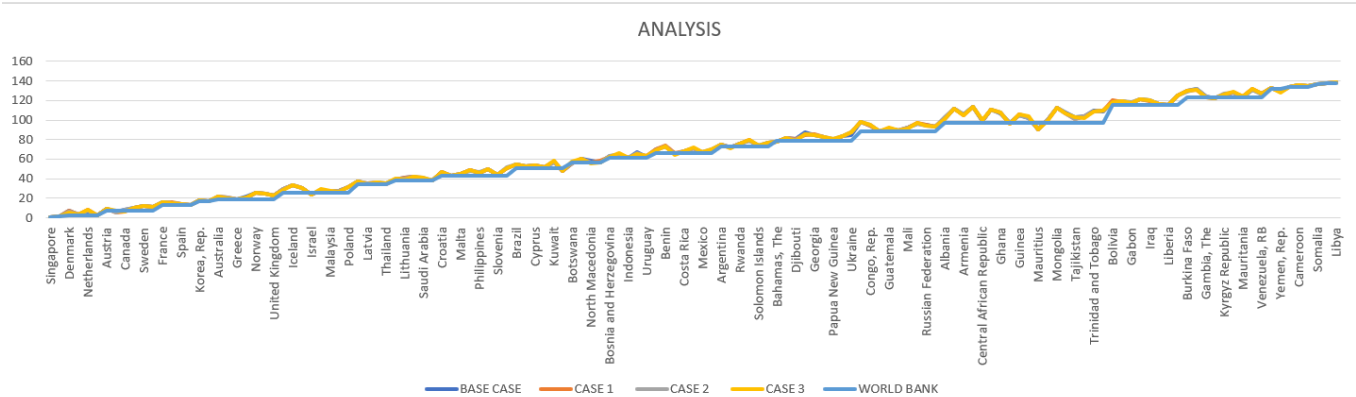


Figure 2. Sensitivity analysis results.

Figure 2 shows the comparison of 139 countries according to the aforementioned four analyses and with the World Bank. The World Bank data do not clearly rank these countries, but the four analyses ranked each country, with no significant difference with the World Bank data. The data in the literature support the proposed method.

5. Conclusion and Recommendations

This study analyzed the logistics, one of today’s most important topics, and the LPI, one of its fundamental steps, were analyzed using scientific methods. The World Bank report implemented a scoring system based on expert opinions, and the countries’ LPI scores were calculated for each criterion by taking the final average. The need for a more objective and precise re-assessment of the evaluation, based on examining the World Bank report, prompted the adoption of an unused method in the literature, making the study unique and allowing for a meticulous analysis of the assessment. The study was re-analyzed objectively without needing an expert, taking criterion weights from four perspectives. The country rankings were analyzed while keeping the ORESTE method constant in terms of criterion weights. When compared to World Bank data, it was discovered that there is no clear ranking for each country, and in some cases, more than one country has the same ranking. However, each country’s ranking differs in the proposed methods depending on the criteria weights used. Future research could improve the literature by using fuzzy logic to determine criteria weights, investigating country groups, and expanding the analysis beyond rankings to provide a comprehensive evaluation of logistics performance. Longitudinal studies can be used to analyze the dynamics of countries’ logistics performance over time. Examining these trends and changes in logistics performance over time can help identify the primary drivers of change, assess the impact of policy interventions on logistics performance, incorporate sustainability metrics and indicators into the assessment framework, and broaden the analysis. This could include evaluating the environmental and social impacts of logistics activities, such as carbon emissions, resource use, and working conditions, to gain a more comprehensive understanding of logistics performance. Finally, by evaluating the LPIs of the countries, the most exported countries can be identified, their logistics performance can be thoroughly analyzed, and exporters can view the logistics performance analysis of the countries to which they will export.

Peer Review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Conception/Design of Study- D.Ç., Ü.Ö., S.M.; Data Acquisition- D.Ç., Ü.Ö., S.M.; Data Analysis/ Interpretation- D.Ç., Ü.Ö., S.M.; Drafting Manuscript- S.M.; Critical Revision of Manuscript- D.Ç., Ü.Ö.; Final Approval and Accountability- D.Ç., Ü.Ö., S.M.

Conflict of Interest: Authors declared no conflict of interest.

Financial Disclosure: This work is supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) 2219 - Overseas Postdoctoral Research Fellowship Program with grant number [1059B192202444]

ORCID IDs of the authors

Deniz Çıray 0009-0000-9986-4359
 Ümit Özdemir 0000-0001-7045-9608
 Süleyman Mete 0000-0001-7631-5584

REFERENCES

- Adali, E. A., & IŞIK, A. T. (2017). Ranking web design firms with the ORESTE method. *Ege Academic Review*, 17(2), 243-254.
- Beysenbaev, R., & Dus, Y. (2020). Proposals for improving the logistics performance index. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 36(1), 34-42.
- Boer, E. R., & Rakauskas, J. E. (2005, June). Steering entropy revisited. In *Driving Assessment Conference* (Vol. 3, No. 2005). University of Iowa.
- Bozkurt, C., & Mermertaş, F. (2019). Türkiye ve G8 ülkelerinin lojistik performans endeksine göre karşılaştırılması. *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi*, 7(2), 107-117.
- Civelek, M. E., Çemberci, M., Artar, O. K., & Uca, N. (2015). Key factors of sustainable firm performance: A strategic approach.
- Çetinkaya, C., Özceylan, E., Erbaş, M., & Kabak, M. (2016). GIS-based fuzzy MCDA approach for siting refugee camp: A case study for southeastern Turkey. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 18, 218-231.
- Faria, R. N. D., Souza, C. S. D., & Vieira, J. G. V. (2015). Evaluation of logistic performance indexes of brazil in the international trade. *RAM. Revista de Administração Mackenzie*, 16, 213-235.
- Gavin, M., & Rodrik, D. (1995). The World Bank in historical perspective. *The American Economic Review*, 85(2), 329-334.
- Gergin, R. E., & Baki, B. (2015). Evaluation by integrated AHP and TOPSIS Method of Logistics Performance in Turkey's Regions. *Business and economics research Journal*, 6(4), 115.
- Guner, S., & Coskun, E. (2012). Comparison of impacts of economic and social factors on countries' logistics performances: a study with 26 OECD countries. *Research in logistics & production*, 2(4), 330-343.
- Hayaloğlu, P. (2015). The impact of developments in the logistics sector on economic growth: the case of OECD countries. *International Journal of Economics and Financial Issues*, 5(2), 523-530.
- Jafari, H. (2013). Identification and prioritization of grain discharging operations risks by using ORESTE method. *American Journal of Public Health Research*, 1(8), 214-220.
- Karaköy, Ç., & Ölmez, U. (2019). Balkan ülkelerinde lojistik performans endeksi değerlendirilmesi. *Uluslararası Sosyal, Beşeri ve İdari Bilimlerde Yenilikçi Yaklaşımlar Sempozyumu*, 178-180.
- Kisa, A. C. G., & Ayçin, E. (2019). Evaluation of logistics performances of OECD countries with SWARA-based EDAS method. *Journal of Çankırı Karatekin University Faculty of Economics and Administrative Sciences*, 9(1), 301-325.
- Kunadhamraks, P., & Hanaoka, S. (2008). Evaluating the logistics performance of intermodal transportation in Thailand. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, 20(3), 323-342.
- Levy, R., LeBlanc, J. P. F., & Gull, E. (2017). Implementation of the maximum entropy method for analytic continuation. *Computer Physics Communications*, 215, 149-155.
- Liao, H., Wu, X., Liang, X., Xu, J., & Herrera, F. (2018). A new hesitant fuzzy linguistic ORESTE method for hybrid multicriteria decision making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 26(6), 3793-3807.
- Luo, S., Liang, W., & Zhao, G. (2020). Likelihood-based hybrid ORESTE method for evaluating the thermal comfort in underground mines. *Applied Soft Computing*, 87, 105983.
- Mannor, S., Peleg, D., & Rubinstein, R. (2005, August). The cross-entropy method for classification. In *Proceedings of the 22nd international conference on Machine learning* (pp. 561-568).
- Martí, L., Puertas, R., & García, L. (2014). The importance of the Logistics Performance Index in international trade. *Applied economics*, 46(24), 2982-2992.
- Martí, L., Puertas, R., & García, L. (2014). The importance of the Logistics Performance Index in international trade. *Applied economics*, 46(24), 2982-2992.
- Ojala, L., & Celebi, D. (2015). The World Bank's Logistics Performance Index (LPI) and drivers of logistics performance. *Proceeding of*

MAC-EMM, OECD, 3-30.

- Özdemir, L. (2017). Relationship between financial development and logistics performance and their effects on the competitiveness: an empirical cross-country study.
- Rezaei, J., van Roekel, W. S., & Tavasszy, L. (2018). Measuring the relative importance of the logistics performance index indicators using Best Worst Method. *Transport Policy*, 68, 158-169.
- Sh Shang, K. C., & Marlow, P. B. (2007). The effects of logistics competency on performance. *Journal of international logistics and Trade*, 5(2), 45-66.
- Szita, I., & Lörincz, A. (2006). Learning Tetris using the noisy cross-entropy method. *Neural computation*, 18(12), 2936-2941.
- TÜRKOĞLU, M., & DURAN, G. (2023). Çok kriterli karar verme yöntemleri ile bölgesel kapsamlı ekonomik ortaklık (rcep) ülkelerinin lojistik performanslarının değerlendirilmesi. *Ekonomi Bilimleri Dergisi*, 15(1), 45-69.
- The World Bank (2023), The International Bank for Reconstruction and Development, website <https://lpi.worldbank.org/> .
- Ulutaş, A., & Karaköy, Ç. (2019). An analysis of the logistics performance index of EU countries with an integrated MCDM model. *Economics and Business Review*, 5(4), 49-69.
- Wu, X., & Liao, H. (2018). An approach to quality function deployment based on probabilistic linguistic term sets and ORESTE method for multi-expert multi-criteria decision making. *Information Fusion*, 43, 13-26.
- Yusufkhonov, Z., Ravshanov, M., Kamolov, A., & Kamalova, E. (2021). Improving the position of the logistics performance index of Uzbekistan. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 264, p. 05028). EDP Sciences.
- Zolfani, S. H., Aghdaie, M. H., Derakhti, A., Zavadskas, E. K., & Varzandeh, M. H. M. (2013). Decision making on business issues with foresight perspective; an application of new hybrid MCDM model in shopping mall locating. *Expert systems with applications*, 40(17), 7111-7121.

How cite this article

Çıray, D., Özdemir, Ü., & Mete, S. (2024). An evaluation of the logistics performance index using the ENTROPY-based ORESTE method. *Journal of Transportation and Logistics* 9(1), 68-82. <https://doi.org/10.26650/JTL.2024.1437070>

Road-mapping for smart and lean tools with a sustainability perspective: A new model proposal

Mehmet Akif Gündüz¹ , Sercan Demir² , Turan Paksoy³ 

¹(Assoc. Prof. Dr.), Necmettin Erbakan University, Department of Aviation Management, Konya, Türkiye

²(Asst. Prof.), Northumbria University, Newcastle Business School, Department of Marketing, Operations and Systems, Newcastle, UK

³(Prof. Dr.), Necmettin Erbakan University, Department of Aviation Management, Konya, Türkiye

ABSTRACT

This paper introduces a pioneering model designed to evaluate the readiness and maturity of smart-lean manufacturing by seamlessly integrating sustainability principles. In the dynamic landscape of Industry 4.0, where digitalization and connectivity redefine manufacturing paradigms, the convergence of smart and lean principles emerges as a powerful strategy. However, existing frameworks often lack a comprehensive approach that incorporates sustainability. Our model addresses this gap, systematically assessing organizations' smart-lean manufacturing capabilities and their alignment with sustainability goals.

The proposed model employs a novel algorithm to assess the relationship between the maturity of smart and lean tools and their economic, social, and environmental contributions. Through a carefully designed process, decision-makers determine correlation ratings, evaluate tool maturity, and calculate contribution gaps, providing a roadmap for prioritized implementation. To illustrate the model's applicability, an anonymous case study is presented, showcasing the step-by-step application of the algorithm.

This contribution is significant for enterprises seeking operational excellence and competitive advantage in the Industry 4.0 era. By incorporating sustainable lean principles into the smart-lean framework, our model guides organizations in enhancing their capacity development and making informed investment decisions. This paper not only advances academic discourse but also offers a practical tool for industry practitioners navigating the complexities of smart-lean manufacturing, ensuring a sustainable and environmentally responsible approach in the pursuit of long-term performance improvements.

Keywords: Smart manufacturing, lean manufacturing, smart-lean capabilities, smart-lean maturity, smart-lean sustainability, readiness and maturity model

1. Introduction

The global manufacturing industry is currently undergoing a profound transformation, driven by technological advancements, evolving customer demands, and an increasing awareness of the imperative for sustainability (Benkhati et al., 2023; Dahmani et al., 2021; Shahin et al., 2020). In the era of Industry 4.0, characterized by digitalization and connectivity that revolutionize product design, production, and delivery processes, the integration of smart manufacturing and lean principles has emerged as a potent strategy for achieving operational excellence and gaining a competitive advantage (Treviño-Elizondo et al., 2023).

The advent of Industry 4.0 signifies a paradigm shift, with smart manufacturing leveraging advanced technologies such as the Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI), robotics, and big data analytics (Shahin et al., 2020). Through these technologies, smart manufacturing facilitates real-time data collection, analysis, and decision-making, resulting in improved productivity, enhanced quality, and increased flexibility and responsiveness across production systems. This holistic approach optimizes the entire manufacturing value chain, encompassing design, production, supply chain management, and customer service (Shahin et al., 2020).

Concurrently, lean manufacturing has long been acknowledged as a highly effective methodology for waste elimination, efficiency improvement, and the delivery of superior-quality products at reduced costs (Shahin et al., 2020). Emphasizing continuous improvement and the elimination of non-value-added activities, lean principles enable organizations to achieve operational

Corresponding Author: Mehmet Akif Gündüz **E-mail:** akifgunduz@gmail.com

Submitted: 20.07.2023 • **Revision Requested:** 12.11.2023 • **Last Revision Received:** 22.11.2023 • **Accepted:** 08.12.2023 • **Published Online:** 05.03.2024



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

excellence. This is realized through a relentless pursuit of perfection, engaging all employees in problem-solving and process improvement initiatives (Shahin et al., 2020).

Despite the individual merits of smart and lean manufacturing, a critical need exists for a comprehensive model that integrates both approaches with a sustainability perspective (Benkhati et al., 2023; Dahmani et al., 2021; Treviño-Elizondo et al., 2023). Such a model would enable enterprises to evaluate their readiness and maturity in adopting a combined smart-lean manufacturing approach. Addressing this gap, this paper proposes a novel model that incorporates sustainable lean principles into the existing smart-lean framework. This model serves as a roadmap for organizations, aiding in the enhancement of their capacity development and informed investment decision-making. The overarching goal is to facilitate enduring performance improvements, successful lean implementations, and the adoption of a sustainable and environmentally responsible approach (Benkhati et al., 2023; Dahmani et al., 2021).

The integration of smart and lean manufacturing presents a compelling proposition for organizations in the Industry 4.0 era, where smart manufacturing provides digital infrastructure and advanced technologies, while lean principles contribute a systematic approach to process improvement and waste elimination (Shahin et al., 2020). Together, these approaches can drive significant productivity, quality, and responsiveness improvements. This integrated strategy positions organizations to adapt swiftly to changing customer demands and dynamic market conditions (Shahin et al., 2020).

The primary objective of this paper is to propose a novel model that integrates smart-lean capabilities with sustainability principles. This model aims to assess an organization's readiness and maturity in adopting smart-lean manufacturing practices. The subsequent sections delve into the background and rationale for integrating smart and lean manufacturing, outlining the benefits and challenges associated with this approach. Additionally, the paper discusses its objectives, which include the development of a readiness and maturity model, the incorporation of sustainable lean principles, and the provision of a roadmap for capacity development. The proposed model's key components, assessment criteria, and integration of smart, lean, and sustainability principles are presented in detail, followed by a discussion of potential implications and benefits. The paper concludes by emphasizing the significance of the proposed model and suggesting avenues for future research.

2. Research Framework

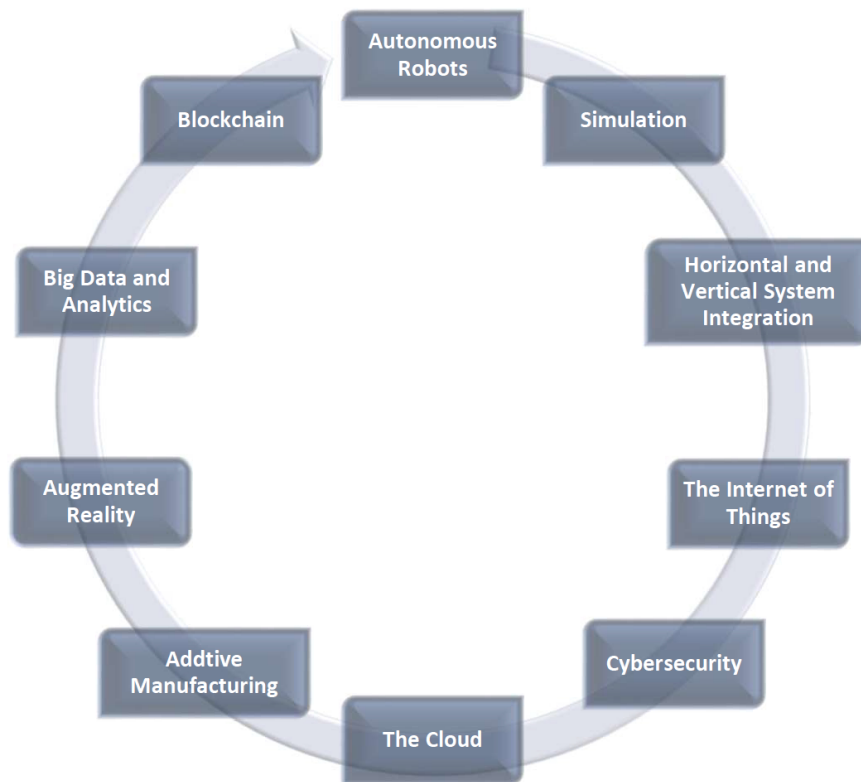
In this section, we present a literature review on smart manufacturing tools, lean manufacturing tools, and smart and lean sustainability, subsequently. Afterward, we highlight the literature gap.

2.1. Smart Manufacturing Tools

The concept of "smart manufacturing" refers to fully integrated, cooperative production systems that rapidly adapt to changing customer demands and conditions in the production systems, the supply chain, and the expectations of customers (NIST, 2018). Smart manufacturing aims to use the proper techniques to increase the production and quality performance of existing manufacturing environments. The ability to produce a variety of products in small batches and increase productivity and yield rate are two examples of enhancements that smart manufacturing provides (Chien et al., 2017). Smart production aims to make production processes more flexible and resource-efficient. Smart products and smart factories are two essential components of smart production (Dhungana et al., 2015). Smart manufacturing is a technology-driven strategy that streamlines every step of production and management, employing the proper embedded technologies for manufacturing processes. It aims to automate operations and use data analytics to optimize system performance and increase effectiveness and efficiency (Ku et al., 2020). Smart manufacturing systems use emerging technologies to reshape and optimize the production process. These smart technologies are shown in Figure 1.

Industry 4.0 combines advanced control systems and internet technology to enable communication among workers, objects, and manufacturing systems. The core idea behind Industry 4.0 is to use the capacity of cyber-physical systems to give intelligence and communication for artificial, technical systems that are called smart systems (Anderl, 2014). Smart production aims to make production processes more adaptable and resource-efficient. Smart production has two essential foundations: smart products and smart factories (Dhungana et al., 2015).

Figure 1. Smart technologies reshaping the production process (Source: Demir et al., 2020)



2.2. Lean Manufacturing Tools

Lean Manufacturing (LM) is a production philosophy that involves minimizing waste and eliminating non-value-added tasks to better use resources, increase productivity, maximize quality, and lower costs (Abobakr et al., 2022). Lean manufacturing comprises extensive techniques that eliminate Ohno’s seven wastes (e.g., overproduction, waiting, transportation, over-processing, inventory, movement, and defects) and create leaner, more flexible, and more customer-responsive companies. When a lean manufacturing system is appropriately implemented, less inventory and labor force are used, less space is needed, and less investment is made. Lean manufacturing techniques remove ambiguities and disorders in traditional manufacturing environments and help employees work comfortably, safely, and with greater confidence (Demir and Paksoy, 2023).

The impact of lean principles on sustainability has been extensively studied in the literature. Afum et al. (2021) focus on how lean production, internal green practices, green product innovation, and sustainable performance metrics interact with one another. Ali et al. (2020) investigate the effects of lean, Six Sigma, and environmental sustainability on SMEs’ performance. Alves and Alves (2015) introduce a production management model incorporating sustainability and lean manufacturing principles. The cultural transformation in the firm supports the proposed model and uses lean manufacturing tools to reduce waste and increase productivity. Cherrafi et al. (2016) review and deliver an analysis of the existing papers in the literature that focus on incorporating lean manufacturing, Six Sigma, and sustainability. Ben Ruben et al. (2020) examine the relationship between Lean Six Sigma and sustainability measures and their impact on enhancing organizational performance using the structural equation modeling (SEM) technique. Burawat (2019) explores the structural relationship between sustainable and transformational leadership, lean manufacturing techniques, and sustainability performance in the Thai manufacturing sector.

The terms lean and green are frequently used together in literature. Cherrafi et al. (2017) introduce a model that helps companies to successfully implement Green, Lean, and Six Sigma strategies to enhance their sustainability performance. Cherrafi et al. (2019) introduce a Gemba-Kaizen-based framework combining Lean and Green practices. Choudhary et al. (2019) present a novel Green Integrated Value Stream Mapping model that applies lean and green paradigms and assesses a manufacturing system’s operational efficiency and carbon footprint. Ciannella and Sansos (2022) examine how employee social sustainability (ESS) dimensions are affected by lean manufacturing techniques. The authors apply an AHP model to prioritize eight lean manufacturing tools and four ESS dimensions. Demir and Paksoy (2023) investigate lean manufacturing tools (see Table 1) and propose a multidimensional lean maturity model.

Table 1. Lean Manufacturing Tools

Lean Management Tool	Description
Value Stream Mapping (VSM)	VSM is a lean tool that aids in understanding the flow of material and information through every step of a manufacturing process. The purpose of VSM is to detect and eliminate waste by implementing a future state value stream that can turn into reality in a short time (Chaple and Narkhede, 2017).
Pareto Chart	Pareto chart is a frequency block diagram displaying the relative frequency of different attributes in descending order (Grosfeld-Nir et al., 2007).
Spaghetti Plot	Spaghetti plot is a method to view the movement of an object, such as a worker or material, in a system with the help of a line (Senderská et al., 2017).
Genchi Genbutsu	Genchi genbutsu is one of the critical elements of the TPS, and it means going and seeing the real facts in the actual workplace for a complete and careful understanding of a situation (Gao and Low, 2014).
Jidoka	The Japanese word Jidoka means "intelligent automation" or "autonomous automation." The main objective of Jidoka is to establish small and autonomous control cycles to monitor and detect defective products and prevent them from being disseminated (Deuse et al., 2020).
Just-in-time (JIT)	JIT is an operating concept that aims to eliminate waste and make the process more efficient. It was developed in the 1950s and achieved significant success at Toyota (Canel et al., 2000).
Total Productive Maintenance (TPM)	TPM is a manufacturing approach that aims to maximize the effective use of equipment by means of the participation and motivation of all workers (Cua et al., 2001).
Kanban	The Japanese word Kanban means "card" or "sign", and in lean practices, Kanban refers to control cards used in a pull system. Kanban is a visual control system that aims to eliminate waste such as overproduction, increase flexibility and agility in response to volatile customer demand, and reduce cost by eliminating waste (Arbulu et al., 2003).
Daily Management System (DM)	DM is a continuous process that allows people to visualize whether the work is done in the right way and whether the performance is good enough or not to achieve the expected business performance (Ferro and Gouveia, 2015).
One-Piece-Flow	One-Piece Flow refers to moving one part at a time between sequential operations in a production process. One-Piece Flow production system emphasizes factors such as sequencing, setup time, and make-to-order policy during production scheduling (Sundar et al., 2014).
Cellular Manufacturing	Cellular manufacturing refers to the physical division of a facility's machinery into production cells, each aiming to produce a family of parts (Drolet et al., 1996).
Heijunka	Heijunka is a sequencing discipline that aims to balance the production of different products over a certain period to achieve a constant flow of various parts in a manufacturing system (Furmans, 2005).
Computer Integrated Manufacturing (CIM)	CIM aims to develop superior IT solutions and establish a foundation for the implementation of integrated and computerized systems into manufacturing processes (Delaram and Valilai, 2018).
SMED	In Japan, SMED was developed by Shigeo Shingo in the 1950s in response to increasing flexibility in customer demand and a requirement to produce smaller lot sizes. This method is rapid and efficient for converting a manufacturing process from running the current product to running the next product (Ulutas, 2011).
Poka Yoke	Poka Yoke is a quality management technique that helps prevent human errors in a production line. The Japanese word Poka Yoke means "avoiding inadvertent errors." Shigeo Shingo developed this technique to eliminate defective products (Malega, 2018).
Visual Management (VM)	VM is a lean tool that helps workers track their jobs and assess whether they are being done correctly. Hence a worker can know whether the activity is being carried out safely or might cause an injury. Some VM systems are information boards, space boundaries,

Table 1. Continued

	and andons which are electronic panel systems that notify employees when a problem occurs (Sá et al., 2021).
5S	The 5S method is a lean management tool to create a highly efficient, organized, and ergonomic working environment. 5S is the shortened form of five words that represents the concept: Seiri (selection), Seiton (systematization), Seiso cleaning), Seiketsu (standardization), and Shitsuke (self-discipline) (Falkowski and Kitowski, 2013).
ABC Analysis	ABC analysis is an inventory categorization method that classifies inventory items into three groups: A, B, and C. Category A items are the most valuable and fast-moving items, category B items are of lower value than category A items, and category C items are the least valuable and slow-moving items (Nallusamy, 2016).
Andon	Andon is a visual management device that shows the status of operations in a system and signalizes any abnormality (Kemmer et al., 2006).
Pull System	Pull system is the application of just-in-time system to material management where the amount and time of material flow are determined based on the actual utilization rate of material. Toyota uses Kanban to operate the pull system (Kim, 1985).
Customer Relationship Management (CRM)	CRM is a strategic management technique that merges the potential of IT and relationship marketing strategies to develop strong relationships with key customer segments and build an efficient value chain (Payne, 2012).
Suggestion System	Suggestion system is a management technique that aims to encourage the employees to be active in a process by empowering them to present their ideas and suggestions through surveys, meetings, and suggestion forms (Schröders and Cruz-Machado, 2015).
Takt Time	Takt time is a metric used to synchronize manufacturing and sales velocity. It represents the frequency in which a product needs to be manufactured to meet a customer's demand (Chaple and Narkhede, 2017).
5 Whys Analysis	Five whys analysis is a lean management technique to identify the root cause of a specific problem by asking why the problem happens until finding the root cause (Chen et al., 2010).
Problem-solving Methods	Problem-solving methods are necessary tools for the management and process improvement efforts. The first step of problem-solving is to rapidly identify the root cause of the problem and implement an appropriate solution that guarantees that the problem will not occur in the future (Wojtaszak and Biały, 2015).
Ishikawa Diagram (Fishbone Diagram)	The Ishikawa diagram shows the relationship between an effect or problem and its potential causes. It allows the categorization of the causes and produces good results in a short time since the visual representation is easy to construct. This diagram is also called a fishbone or cause-effect diagram (Iuga and Rosca, 2017).
Scatter Diagram (Scatter Plot)	Scatter plot is a tool that shows how two variables are related to one another. These plots help detect the amount of correlation, or the degree of linear relationship, between two variables (Syduzzaman et al., 2014).
Workflow Diagram	A workflow diagram is a basic visual layout of a business process that shows the movement of material, identifies waste areas, and helps plan future improvements (Wang, 2010).
Histogram	A histogram is a graphical representation of recorded values in a data set based on their frequency of occurrence (Lai and Cheng, 2016).
Quality control charts/ Process Capability Analysis (PCA)	Quality control charts are graphs plotting the changes of a process in chronological order (Abujudeh et al., 2017). PCA is a quality technique used to estimate the proportion of parts that do not meet engineering requirements in a stable production process (Gildeh and Moradi, 2012).
Check Sheet	Check sheet tables are used to record the frequency of defects or problems, and it is a useful method of systematically recording, collecting, and illustrating data patterns from observations (Lai and Cheng, 2016).

Source: Demir and Paksoy (2023)

2.3. Smart and Lean (S-Lean) Sustainability: Literature Gap

Integrating smart technologies, lean principles, and sustainability considerations has gained significant attention in various domains, including urban management, manufacturing, maintenance, and product design. However, there needs to be more literature regarding a comprehensive road map or framework that outlines the strategic integration of these three dimensions.

Smart and lean manufacturing have emerged as key paradigms in contemporary industrial practices, offering innovative approaches to enhance operational efficiency, reduce waste, and improve sustainability. This literature review synthesizes insights from several papers that delve into the integration of smart and lean principles, exploring their impact on various industries and organizational processes. The study by Tsai et al. (2021) focuses on healthcare, introducing the application of Lean and Six Sigma methodologies alongside smart technology to streamline perioperative management. This integration, guided by the DMAIC architecture, successfully reduced waiting times, enhanced process efficiency, and improved patient satisfaction. The findings emphasize the potential of smart and lean integration in healthcare settings to deliver high-quality services while minimizing operational inefficiencies (Tsai et al., 2021). In Mahmood and Montagna's (2013) paper, a system-of-systems (SoS) approach is proposed to make lean practices smarter. The integration of SoS principles aims to optimize manufacturing systems, though the paper lacks detailed insights into practical implementations. However, it opens avenues for future research to explore the real-world application and impact of such an integrated approach in diverse manufacturing settings. Bortolotti et al. (2023) contribute to the literature by investigating the impact of integrating smart manufacturing into lean companies, specifically focusing on shop-floor employees' autonomy and empowerment. The study employs the Job Characteristics Model, revealing that smart manufacturing supports job rotation and enhances decision-making speed without compromising the principles of lean manufacturing. This research provides valuable insights into maintaining "soft" lean practices while adopting smart manufacturing technologies, offering practical implications for organizations aiming to enhance employee experiences (Bortolotti et al., 2023). The bicycle industry in Taiwan serves as a case study in Li's (2019) research, showcasing the practical implementation of "Lean Smart Manufacturing." Using the case of GIANT, the study highlights the potential of balancing differentiation and open innovation through the establishment of a co-creative platform. While still in the development stage, this case study presents a promising application of "Lean Smart Manufacturing" in a competitive industry, demonstrating its potential to strengthen competitiveness through a strategic blend of lean production and smart manufacturing (Li, 2019). Treviño-Elizondo et al. (2023) propose a maturity model for organizations to become smart by integrating Lean and Industry 4.0. This model provides a roadmap for organizations to transition towards smart operations, emphasizing Lean as a key enabler for driving Industry 4.0 adoption. By structuring the types of Lean principles, methods, and tools alongside Industry 4.0 technologies, the model offers a comprehensive guide for organizations seeking to evolve into smart entities (Treviño-Elizondo et al., 2023). The study by Tripathi et al. (2023) explores the integration of lean, green, and smart manufacturing for enhancing sustainability on the shop floor in Industry 4.0. The novel framework presented in this research demonstrates significant improvements in productivity, machinery utilization, and environmental impact. The integration of smart manufacturing features with lean and green practices offers a holistic approach to sustainability in manufacturing operations (Tripathi et al., 2023). The interplay between smart, lean, and resilient manufacturing is investigated by Benkhathi et al. (2023), exploring their linkages for sustainable development. The research reveals the moderating effect of smart manufacturing on the relationship between lean manufacturing and resilience. The findings suggest that smart manufacturing enhances the components of a sustainable system, allowing firms to achieve both lean and resilient capabilities for high sustainable performance (Benkhathi et al., 2023). Shahin et al. (2020) contribute to the literature by providing a comprehensive review of the links between Lean practices and Industry 4.0 technologies. The study explores existing and potential enhancements of Lean practices enabled by Industry 4.0 technologies such as wireless networks, big data, cloud computing, and virtual reality. The paper emphasizes the integration of a cloud-based Kanban decision support system as a real-world demonstrator, showcasing the practical application of Industry 4.0 technology alongside a major Lean tool (Shahin et al., 2020). The paper by Schmiedbauer et al. (2020) addresses the evolving complexity of asset and maintenance management in the context of Industry 4.0. The Lean Smart Maintenance (LSM) maturity model is extended to incorporate aspects of digitization and digitalization. The study contributes to understanding the influence of cyber-physical systems, data management, and condition monitoring on industrial asset management, highlighting the need to adapt existing models to the changing landscape of Industry 4.0 and data science (Schmiedbauer et al., 2020). The integration of lean design, eco-design, and Industry 4.0 for smart circular product design is explored by Dahmani et al. (2021). The proposed framework emphasizes the importance of decisions made during the product design stage in achieving sustainability throughout the product life cycle. The study provides insights into the synergistic use of lean, eco-design, and Industry 4.0, offering a structured and methodological approach to designing eco-efficient products (Dahmani et al., 2021). The book chapter by Akbal and Doğan (2023) explores lean and smart supply chain management in healthcare. The authors emphasize the significance of supply chain functions in healthcare settings, highlighting the role of smart and lean practices in ensuring a continuous and efficient flow of materials and services. The integration of smart and lean principles in supply chain management is presented as crucial for maintaining operational effectiveness in healthcare organizations (Akbal & Doğan, 2023). Rahardjo et al. (2023) present a novel Smart and Sustainable Manufacturing System (SSMS) that integrates Industry 4.0 technologies and Lean Manufacturing tools. The authors introduce Dynamic Lean 4.0 tools, such as Sustainable Value Stream Mapping, Extended Single Minute Exchange of Die,

and Digital Poka-Yoke, as outputs of synergistic relationships that optimize production processes. The case study presented in the paper demonstrates the practical implementation of SSMS, indicating improvements in process capability and various operational metrics (Rahardjo et al., 2023). The review by Touriki et al. (2021) investigates an integrated framework that combines smart, green, resilient, and lean manufacturing for sustainable development. Drawing on a hybrid methodology, the study explores the moderating effect of smart manufacturing on the relationship between lean and resilient manufacturing. The findings suggest that smart manufacturing fosters a synergy that enables firms to be both lean and resilient, contributing to high sustainable performance (Touriki et al., 2021). In summary, the integration of smart and lean manufacturing practices offers a multidimensional approach to enhance efficiency, sustainability, and competitiveness across various industries. While each study contributes unique insights and perspectives, a common thread emerges: the potential synergies between smart and lean principles hold promise for organizations seeking to navigate the complexities of contemporary manufacturing environments.

Several studies emphasize the integration of smart technologies and lean principles to enhance operational performance in various contexts. For instance, Rößler (2017) proposes the Smart Factory Assessment (SFA) methodology, which combines lean and digital manufacturing principles to assess and improve production and logistics systems. Bokhorst et al. (2022) explore the adoption of smart manufacturing technologies in conjunction with lean principles, highlighting the necessity of lean for successful smart implementation. Hosseinizadeh Mazloumi et al. (2023) present a model for designing a synchronizer module in computerized maintenance management system (CMMS) software based on lean, smart maintenance and process mining, emphasizing the importance of internal integration, measurement, and improvement in maintenance processes. These studies demonstrate the potential synergies between smart technologies and lean principles in achieving operational improvements but do not explicitly explore lean smart maintenance's sustainability perspective.

The literature also recognizes the importance of integrating sustainability considerations into smart and lean practices. Dahmani et al. (2021) discuss combining lean design, eco-design, and Industry 4.0 technologies to develop eco-efficient products based on circular economy strategies. Fiorello et al. (2023) propose a smart lean green production paradigm that leverages Industry 4.0 tools to improve operational performance while addressing environmental impacts. These studies highlight the need to align smart and lean practices with sustainability goals, emphasizing the role of green principles and eco-design approaches. Despite the growing interest in smart and lean practices with a sustainability perspective, there needs to be more comprehensive road maps or frameworks that guide organizations in strategically integrating these dimensions. The literature offers valuable insights into specific aspects of this integration, such as the application of lean principles to evaluate the smartness of cities (Herscovici, 2018) or the incorporation of sustainability in the design of smart and lean production systems (Biedermann et al., 2016). However, a comprehensive road map encompassing the scope of smart lean sustainability still needs to be included. Such a road map could outline the stages of adoption, identify critical success factors, and guide the selection and implementation of smart and lean practices to achieve sustainability objectives. Furthermore, the road map should account for contextual factors, such as industry-specific challenges, organizational capabilities, and stakeholder engagement.

3. Methodology

This subsection describes our methodology by providing detailed information on the sampling strategy, respondent qualifications, and data collection methods.

3.1. Sampling Strategy

Our study employed a purposive sampling strategy to ensure that participants had relevant experience and expertise in smart-lean manufacturing practices within the context of sustainability. The participants were selected based on their roles in the case study company, including managers, engineers, and practitioners directly involved in the implementation of smart and lean principles. This approach aimed to gather insights from individuals with a comprehensive understanding of the integration of smart-lean practices and sustainability in manufacturing operations.

3.2. Respondent Qualifications

The qualifications of the respondents played a crucial role in providing valuable and informed perspectives. Participants were required to have a minimum of five years of experience in roles related to manufacturing, with a focus on smart and lean initiatives. The qualifications ensured that respondents possessed in-depth knowledge and practical insights into the challenges and opportunities associated with the integration of smart and lean manufacturing principles from a sustainability standpoint.

3.3. Data Collection

Data collection for this study involved a questionnaire with sample company experts to gather quantitative evaluations and obtain a comprehensive understanding of the research questions. The conduction of the questionnaire aimed to provide a robust dataset for the analysis of the integration of smart and lean manufacturing practices with a sustainability perspective.

4. Proposed Model

This conceptual model evaluates the relationship between the maturity of smart and lean tools and their economic, social, and environmental contributions to sustainability. The decision-maker determines a correlation rating of 1 to 5 between the dimensions of sustainability and smart and lean tools. A smart or lean tool's current maturity level indicates a gap that needs to be filled. To understand the potential impact of bridging this gap on sustainability, we multiply the relational values for each dimension by the gap value and sum them up. The resulting prioritization score indicates a smart or lean tool's significance and guides us to develop a roadmap for its implementation. Next, the steps of computing the smart and lean tools' priority score for road mapping are summarized in the present sub-section:

Step 1. Establishing the smart and lean tools' sustainability contributions: The computations start by determining the relationship between smart and lean tools and their economic, social, and environmental contributions to sustainability. The decision-maker rates these correlations on a scale of 5, where 1 indicates a weak relationship, and 5 indicates a strong relationship. Each dimension is calculated by averaging a set of indicators. The indicators are presented in Table 2.

Table 2. Indicators of sustainability dimensions

Sustainability Dimension	Indicators
Environmental	A1. Waste A2. Pollution A3. Emission A4. Land use A5. Energy use A6. Natural resource use A7. Reuse A8. Recycling
Economic	B1. Cost B2. MLT B3. OEE B4. Inventory turnover B5. Facility space use B6. Damage and loss B7. Stock-exchange value B8. Sales revenue
Social	C1. Social responsibility C2. Perks and bonuses C3. Positive work environment C4. Occupational health and safety C5. Career development C6. Job satisfaction C7. Job security C8. Flexible work schedule

Step 2. Evaluating the smart and lean tools' maturity: The smart and lean tools' maturity level is assessed by taking the geometric mean of its dimension scores (asset/tool status, application status, and adoption status). The maturity score indicates the degree of tools and how they are appraised regarding smartness and lean maturity.

Step 3. Calculating the contribution gap: The contribution gap is determined by subtracting the current maturity level from the ideal level which equals 5 on a scale of 1 to 5. The methodological framework highlights the importance of bridging the gap between the current tool maturity and the desired level. A higher gap score means higher priority since a higher score indicates that a more significant gap exists between the desired and target levels.

Step 4. Analyzing the impact on sustainability: To understand the potential impact of closing the contribution gap on sustainability, the relational values (correlation ratings) for each dimension (economic, social, and environmental) are multiplied by the contribution gap. For each dimension of sustainability, we took the weight equal and then multiplied by the gap. However, if the decision maker wishes, he or she can weigh the three dimensions separately such that the sum becomes 1 and then multiply the relation values by weights and the gap as: (individual weight of subdimension of sustainability) * (relation values) * (gap).

Step 5. Deriving the priority score: The prioritization score is obtained by summing up the products of the relational values and the contribution gap for each sustainability dimension. This score indicates a smart or lean tool’s significance and potential contribution to sustainability.

Step 6. Developing a roadmap: With a prioritization score, the smart and lean tools are given priority in the roadmap for implementation. This roadmap will guide firms on incorporating smart and lean tools with the potential to positively impact sustainability, offering both a measurement and a path to future development.

In the application of the proposed model, data was collected from a leading automobile spare parts manufacturing company, referred to as “Auto Parts Innovate” for confidentiality. Due to the sensitive nature of the industry and company policies, specific details regarding the location, size, and exact processes of AutoParts Innovate have been intentionally distorted to ensure the privacy and security of the organization. AutoParts Innovate, founded in 2005 and headquartered in Turkey, is a prominent player in the automobile spare parts manufacturing industry. Specializing in the production of high-quality components, the company offers a diverse range of products, including engine components like pistons and camshafts, chassis parts such as suspension systems and brake components, electrical components like alternators and starters, body and interior parts including bumpers and mirrors, and transmission parts like clutches and gearboxes. Renowned for its commitment to innovation, Auto Parts Innovate integrates cutting-edge technology into its manufacturing processes and invests significantly in research and development to maintain a competitive edge. The company places a strong emphasis on quality assurance, subjecting all products to rigorous testing to ensure durability and compliance with safety standards. With a global presence and distribution networks reaching key markets worldwide, Auto Parts Innovate serves the needs of various automobile manufacturers and repair facilities. Additionally, the company prioritizes environmental responsibility through eco-friendly practices, and it actively engages in corporate social responsibility initiatives, contributing to local communities and supporting causes related to education, healthcare, and environmental conservation.

Furthermore, it is important to note that the data presented in Table 3 has been intentionally distorted and altered to comply with the company’s policies and protect sensitive information. Table 3 provides a case study example to illustrate the application of the proposed model. For the sake of simplicity and adherence to the company’s policies, we have obscured specific details and distorted data. This anonymized example serves to demonstrate the practical application of the model within an industrial setting while respecting the privacy and confidentiality of the involved company. The results indicate that simulation ranks as the top priority for road mapping with a prioritization score of 35.578. Following closely, Heijunka secures the second-highest prioritization score of 30.000, and additive manufacturing takes the third position with a prioritization score of 27.502. Figure 2 illustrates the methodological steps for the proposed model.

Figure 2. The methodological steps for the proposed method

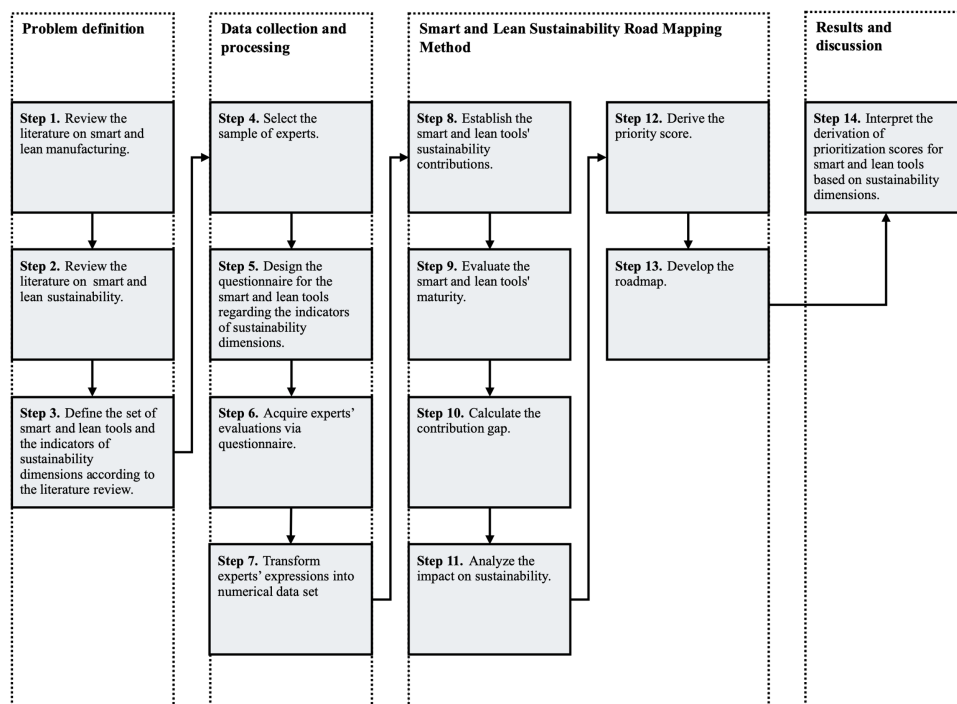


Table 3. Anonymous example

	Environmental Sustainability Contribution Score	Economic Sustainability Contribution Score	Social Sustainability Contribution Score	Component Maturity	Gap	Action Prominence for Environmental Dimension	Action Prominence for Economic Dimension	Action Prominence for Social Dimension	Tool Action Prominence Score for Road Map	Road Map Priority Rank
Artificial Intelligence	3.000	3.000	4.000	2.621	2.379	7.138	7.138	9.517	23.793	5
Augmented Reality	3.000	3.000	3.000	4.000	1.000	3.000	3.000	3.000	9.000	20
Cloud Computing	4.000	4.000	2.000	2.621	2.379	9.517	9.517	4.759	23.793	5
Cyber Security	4.000	5.000	5.000	3.634	1.366	5.463	6.829	6.829	19.121	8
Blockchain	2.000	4.000	3.000	3.000	2.000	4.000	8.000	6.000	18.000	11
System Integration	2.000	3.000	3.000	2.621	2.379	4.759	7.138	7.138	19.034	10
Internet of Things	3.000	2.000	2.000	3.302	1.698	5.094	3.396	3.396	11.887	18
Digital Twin	3.000	4.000	3.000	2.621	2.379	7.138	9.517	7.138	23.793	5
Simulation	3.000	3.000	4.000	1.442	3.558	10.673	10.673	14.231	35.578	1
Big Data Analytics	3.000	3.000	3.000	2.080	2.920	8.760	8.760	8.760	26.279	4
Autonomous Robots	3.000	4.000	2.000	3.420	1.580	4.740	6.320	3.160	14.220	15
Additive Manufacturing	5.000	4.000	4.000	2.884	2.116	10.578	8.462	8.462	27.502	3
Andon	3.000	4.000	3.000	3.302	1.698	5.094	6.792	5.094	16.981	12
Gemba	4.000	3.000	3.000	2.621	2.379	9.517	7.138	7.138	23.793	5
Poka Yoke	3.000	3.000	3.000	3.000	2.000	6.000	6.000	6.000	18.000	11
Value Stream Mapping	3.000	4.000	3.000	2.884	2.116	6.347	8.462	6.347	21.155	7
5 Whys	3.000	2.000	3.000	3.634	1.366	4.097	2.732	4.097	10.926	19
Takt Time	2.000	4.000	3.000	3.302	1.698	3.396	6.792	5.094	15.283	13
Genchi Genbutsu	3.000	3.000	3.000	2.884	2.116	6.347	6.347	6.347	19.040	9
Kanban	3.000	3.000	3.000	2.520	2.480	7.440	7.440	7.440	22.321	6
Hoshin Kanri	3.000	3.000	3.000	4.000	1.000	3.000	3.000	3.000	9.000	20
SMED	3.000	4.000	2.000	3.634	1.366	4.097	5.463	2.732	12.292	17
TPM	4.000	4.000	4.000	3.915	1.085	4.341	4.341	4.341	13.022	16
Heijunka	3.000	4.000	3.000	2.000	3.000	9.000	12.000	9.000	30.000	2

5. Conclusions and Discussions

The integration of sustainable lean principles with smart-lean tools has the potential to revolutionize manufacturing operations and drive significant improvements in productivity, efficiency, and sustainability. This paper has explored the concept of smart-lean manufacturing readiness and maturity from a sustainability perspective, highlighting the key factors and considerations for successful implementation. By combining sustainable lean principles, which focus on eliminating waste, reducing environmental impact, and promoting social responsibility, with smart-lean tools, such as advanced analytics, automation, and Internet of Things (IoT) technologies, organizations can achieve enhanced operational excellence and competitive advantage. This integration enables real-time data collection, analysis, and decision-making, leading to improved process optimization, resource utilization, and overall performance.

The paper has discussed the importance of organizational readiness for smart-lean manufacturing, emphasizing the need for leadership commitment, and employee engagement. It has also highlighted the significance of technology infrastructure, data governance, and cybersecurity measures to successfully deploy and utilize smart-lean tools. In summary, combining sustainable lean principles with smart lean tools presents a transformative opportunity for the manufacturing industry. By embracing this integrated approach, organizations can enhance their competitiveness, achieve environmental sustainability goals, and contribute to social well-being.

The integration of sustainable lean principles with smart-lean tools holds immense potential for revolutionizing manufacturing operations and fostering substantial improvements in productivity, efficiency, and sustainability. Drawing on insights from the studies conducted by Benkhati et al. (2023), Dahmani et al. (2021), Shahin et al. (2020), and Treviño-Elizondo et al. (2023), this paper has delved into the concept of smart-lean manufacturing readiness and maturity through a sustainability lens. It has underscored the critical factors and considerations essential for the successful implementation of this integrated approach.

The synergy of sustainable lean principles, which center on waste elimination, reduced environmental impact, and social responsibility, with smart-lean tools, encompassing advanced analytics, automation, and Internet of Things (IoT) technologies, opens avenues for organizations to attain heightened operational excellence and competitive advantage (Benkhati et al., 2023; Dahmani et al., 2021; Shahin et al., 2020). The amalgamation facilitates real-time data collection, analysis, and decision-making, thereby fostering improved process optimization, resource utilization, and overall performance.

Throughout this exploration, the paper has emphasized the pivotal role of organizational readiness in smart-lean manufacturing. Leadership commitment, employee engagement, robust technology infrastructure, data governance, and cybersecurity measures have been identified as key prerequisites for the successful deployment and utilization of smart-lean tools. This aligns with the findings of Treviño-Elizondo et al. (2023), who highlight the importance of organizational maturity in becoming a smart organization.

The transformative opportunity presented by combining sustainable lean principles with smart lean tools cannot be overstated. The studies by Benkhati et al. (2023), Dahmani et al. (2021), Shahin et al. (2020), Treviño-Elizondo et al. (2023), Akbal and Doğan (2023), Li (2019), Mahmood and Montagna (2013), and Tripathi et al. (2023) collectively underscore the potential of this integrated approach to enhance competitiveness, achieve environmental sustainability goals, and contribute to social well-being. As organizations in the manufacturing industry embrace this integrated model, they position themselves not only for operational excellence but also as responsible contributors to a sustainable and socially conscious future.

6. Limitations and Future Research Directions

Additionally, in considering future avenues of exploration, it is recommended that researchers delve into industry-specific applications, conduct longitudinal studies on implementation, explore emerging technologies, undertake global comparative studies, employ quantitative analysis of sustainability impact, conduct in-depth case studies, and assess employee perspectives. These recommendations aim to contribute to the evolving field of sustainable smart-lean manufacturing in the context of Industry 4.0.

We acknowledge several limitations in our study. First, our research is primarily focused on the manufacturing industry, limiting the direct applicability of the proposed model to other sectors. The generalization of findings should be approached cautiously, considering the specificities of different organizational contexts. Furthermore, the model's applicability relies on existing literature and conceptual analysis, lacking empirical validation from primary data collection in manufacturing organizations. The dynamic nature of smart manufacturing technologies poses a challenge, requiring periodic updates to incorporate emerging advancements. Additionally, while our model encompasses economic, social, and environmental dimensions, the specific sustainability metrics may need customization based on industry and organizational factors. These limitations highlight areas for future research to enhance the robustness and practicality of the proposed model.

Peer Review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Conception/Design of Study- T.P., M.A.G.; Data Acquisition- M.A.G.; Data Analysis/ Interpretation- T.P., M.A.G., S.D.; Drafting Manuscript- S.D., M.A.G.; Critical Revision of Manuscript- T.P.; Final Approval and Accountability- T.P., M.A.G., S.D.

Conflict of Interest: Authors declared no conflict of interest.

Financial Disclosure: Authors declared no financial support.

ORCID IDs of the authors

Mehmet Akif Gündüz	000-0002-3884-1409
Sercan Demir	0000-0003-0764-9083
Turan Paksoy	0000-0001-8051-8560

REFERENCES

- Abobakr, M. A., Abdel-Kader, M., & Elbayoumi, A. F. (2022). Integrating S-ERP systems and lean manufacturing practices to improve sustainability performance: an institutional theory perspective. *Journal of Accounting in Emerging Economies*, (ahead-of-print).
- Afum, E., Zhang, R., Agyabeng-Mensah, Y., & Sun, Z. (2021). Sustainability excellence: The interactions of lean production, internal green practices and green product innovation. *International Journal of Lean Six Sigma*, 12(6), 1089-1114.
- Akbal, H., & Doğan, N. Ö. (2023). Lean and smart supply chain management in healthcare. In *Handbook of Research on Quality and Competitiveness in the Healthcare Services Sector* (pp. 1-26). IGI Global.
- Ali, Y., Younus, A., Khan, A.U., & Pervez, H. (2020). Impact of Lean, Six Sigma and environmental sustainability on the performance of SMEs. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 70(8), 2294-2318.
- Alves, J. R. X., & Alves, J. M. (2015). Production management model integrating the principles of lean manufacturing and sustainability supported by the cultural transformation of a company. *International Journal of Production Research*, 53(17), 5320-5333.
- Anderl, R. (2014). Industrie 4.0-advanced engineering of smart products and smart production. In *Proceedings of international seminar on high technology* (Vol. 19).
- Ben Ruben, R., Vinodh, S., & Asokan, P. (2020). Development of structural equation model for Lean Six Sigma system incorporated with sustainability considerations. *International Journal of Lean Six Sigma*, 11(4), 687-710.
- Benkhati, A., Taleb, H., & Kumar, V. (2023). Linkages between smart, lean, and resilient manufacturing for sustainable development. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 727-744.

- Biedermann, H., Kinz, A., Bernerstätter, R., & Zellner, T. (2016). Lean smart maintenance—Implementation in the process industry. *Productivity Management*, 21(2), 41-43.
- Bokhorst, J. a. C., Knol, W. H., Slomp, J., & Bortolotti, T. (2022). Assessing to what extent smart manufacturing builds on lean principles. *International Journal of Production Economics*, 253, 108599. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108599>
- Bortolotti, T., Gamberi, M., Pilati, F., & Regattieri, A. (2023). Integrating Smart Manufacturing to Lean: A Multiple-Case Study of the Impact on Shop-Floor Employees' Autonomy and Empowerment. *Sustainability*, 15(5), 2451.
- Burawat, P. (2019). The relationships among transformational leadership, sustainable leadership, lean manufacturing and sustainability performance in Thai SMEs manufacturing industry. *International Journal of Quality & Reliability Management*.
- Cherrafi, A., Elfezazi, S., Chiarini, A., Mokhlis, A., & Benhida, K. (2016). The integration of lean manufacturing, Six Sigma and sustainability: A literature review and future research directions for developing a specific model. *Journal of Cleaner Production*, 139, 828-846.
- Cherrafi, A., Elfezazi, S., Govindan, K., Garza-Reyes, J. A., Benhida, K., & Mokhlis, A. (2017). A framework for the integration of Green and Lean Six Sigma for superior sustainability performance. *International Journal of Production Research*, 55(15), 4481-4515.
- Cherrafi, A., Elfezazi, S., Hurley, B., Garza-Reyes, J. A., Kumar, V., Anosike, A., & Batista, L. (2019). Green and lean: a Gemba-Kaizen model for sustainability enhancement. *Production Planning & Control*, 30(5-6), 385-399.
- Chien, C.F., Hong, T.Y. and Guo, H.Z., 2017. An empirical study for smart production for TFT-LCD to empower industry 3.5. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 40(7), pp. 552–561.
- Choudhary, S., Nayak, R., Dora, M., Mishra, N., & Ghadge, A. (2019). An integrated lean and green approach for improving sustainability performance: a case study of a packaging manufacturing SME in the UK. *Production planning & control*, 30(5-6), 353-368.
- Ciannella, S., & Santos, L. C. (2022). Exploring the influence of lean manufacturing practices on employee social sustainability. *Social Responsibility Journal*, 18(8), 1677-1691.
- Dahmani, M., Barletta, I., Pellicciari, M., & Terzi, S. (2021). Smart circular product design strategies towards eco-effective production systems: A lean eco-design industry 4.0 framework. *Sustainable Production and Consumption*, 28, 1016-1033.
- Dahmani, N., Benhida, K., Belhadi, A., Kamble, S. S., Elfezazi, S., & Jauhar, S. K. (2021). Smart circular product design strategies towards eco-effective production systems: A lean eco-design industry 4.0 framework. *Journal of Cleaner Production*, 320, 128847. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128847>
- Demir, S., & Paksoy, T. (2023). Just-in-Time and Lean Management. In *Smart and Sustainable Operations and Supply Chain Management in Industry 4.0* (pp. 223-236). CRC Press.
- Demir, S., Paksoy, T., & Kochan, C. G. (2020). A Conceptual Framework for Industry 4.0: (How is it Started, How is it Evolving Over Time?). In *Logistics 4.0* (pp. 1-14). CRC Press.
- Dhungana, D., Falkner, A., Haselböck, A. and Schreiner, H., 2015, July. Smart Factory Product Lines: A Configuration Perspective on Smart Production Ecosystems. *Proceedings of the 19th International Conference on Software Product Line*, pp. 201–210.
- Fiorello, M., Gladysz, B., Corti, D., Wybraniak-Kujawa, M., Ejsmont, K., & Sorlini, M. (2023). Towards a smart lean green production paradigm to improve operational performance. *Journal of Cleaner Production*, 413, 137418. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137418>
- Herscovici, A. (2018). New development: Lean thinking in smart cities. *Public Money & Management*, 38(4), 320–324. <https://doi.org/10.1080/09540962.2018.1450924>
- Hosseinzadeh Mazloumi, S., Moini, A., & Kermani, M. R. (2022). Designing synchronizer module in CMMS software based on lean smart maintenance and process mining. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. <https://doi.org/10.1108/jqme-10-2021-0077>
- Ku, C. C., Chien, C. F., & Ma, K. T., 2020. Digital transformation to empower smart production for Industry 3.5 and an empirical study for textile dyeing. *Computers & Industrial Engineering*, 142, 106297.
- Li, Y. (2019). Lean smart manufacturing in Taiwan-Focusing on the bicycle industry. *Sustainability*, 11(21), 5924.
- Mahmood, Z., & Montagna, J. M. (2013). Making lean smart by using system-of-systems' approach. *Procedia CIRP*, 7, 11-16.
- NIST. 2018. Model Based Enterprise Program [online]. Available at: <www.nist.gov/programs-projects/model-based-enterprise-program> [Accessed 29 May 2023]
- Rahardjo, S., Kusumawardani, S., & Setiawan, A. I. (2023). A Framework of Sustainable Lean Manufacturing: Smart and Sustainable Manufacturing System (SSMS). In *Proceedings of the 10th International Conference on Operations and Supply Chain Management*.
- Rößler, M. P., & Haschemi, M. (2017). Smart factory assessment (SFA). *ZWF*, 112(10), 699–703. <https://doi.org/10.3139/104.111800>
- Schmiedbauer, M., Landschützer, C., Witzmann, S., & Mörtl, M. (2020). Evolution of a Lean Smart Maintenance Maturity Model towards the new Age of Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 93, 146-151.
- Shahin, A., Al-Mezeini, T., Bazzi, W., & Merhi, M. (2020). Integration of Lean practices and Industry 4.0 technologies: smart manufacturing for next-generation enterprises. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(1), 154-179.
- Touriki, E., Grammenos, I., & Ploskas, N. (2021). A combined approach of smart, green, resilient, and lean manufacturing towards sustainable development. *Sustainability*, 13(1), 96.
- Tripathi, D., Patnaik, B., Sarkar, B., & Srivastava, R. K. (2023). Lean, green, and smart manufacturing: An ingenious framework for enhancing the sustainability of operations management on the shop floor in industry 4.0. *Computers & Operations Research*, 138, 105276.
- Treviño-Elizondo, R., Durán-Rivero, M., & Cantú-del Ángel, D. (2023). A Maturity Model to Become a Smart Organization Based on Lean and Industry 4.0 Synergy. *Sustainability*, 15(5), 2251.
- Tsai, Y. C., Tseng, Y. C., Lee, Y. F., Chou, Y. H., Chang, J. W., & Lai, F. J. (2021). Use of the smart lean method to conduct high-quality integrated perioperative management prior to hospitalization. *Scientific Reports*, 11(1), 20569.

How cite this article

Gündüz, M.A., Demir, S., & Paksoy, T. (2024). Road-mapping for smart and lean tools with a sustainability perspective: A new model proposal. *Journal of Transportation and Logistics* 9(1), 83-96. <https://doi.org/10.26650/JTL.2024.1329972>

Appendix

Table 1. Appendix A. Questionnaire of Digital Transformation Maturity from a Sustainability Perspective

Digital Tool	Asset/tool status	Application Status	Adoption Status	Geometric Mean	Gap
Artificial Intelligence	3	3	2	2.621	2.379
Augmented Reality	4	4	4	4.000	1.000
Cloud Computing	3	3	2	2.621	2.379
Cyber Security	4	4	3	3.634	1.366
Blockchain	3	3	3	3.000	2.000
System Integration	3	3	2	2.621	2.379
Internet of Things	4	3	3	3.302	1.698
Digital Twin	3	3	2	2.621	2.379
Simulation	3	1	1	1.442	3.558
Big Data Analytics	3	3	1	2.080	2.920
Autonomous Robots	5	4	2	3.420	1.580
Additive Manufacturing	4	3	2	2.884	2.116

Digital Tool	Environmental Sustainability								Economic Sustainability								Social Sustainability							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Artificial Intelligence	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4
Augmented Reality	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Cloud Computing	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2
Cyber Security	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Blockchain	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
System Integration	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Internet of Things	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Digital Twin	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3
Simulation	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4
Big Data Analytics	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Autonomous Robots	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2
Additive Manufacturing	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	A1. Waste A2. Pollution A3. Emission A4. Land use A5. Energy use A6. Natural resource use A7. Reuse A8. Recycling								B1. Cost B2. MLT B3. OEE B4. Inventory turnover B5. Facility space use B6. Damage and loss B7. Stock-exchange value B8. Sales revenue								C1. Social responsibility C2. Perks and bonuses C3. Positive work environment C4. Occupational health and safety C5. Career development C6. Job satisfaction C7. Job security C8. Flexible work schedule							

0=N/A 1=Very Low 2=Low 3=Moderate 4=High 5=Very High

Table 2. Appendix B. Questionnaire of Lean Manufacturing Maturity from a Sustainability Perspective

Lean Tool	Asset/tool status	Application Status	Adoption Status	Geometric Mean	Gap
Andon	4	3	3	3.302	1.698
Gemba	3	3	2	2.621	2.379
Poka Yoke	3	3	3	3.000	2.000
Value Stream Mapping	4	3	2	2.884	2.116
5 Whys	4	4	3	3.634	1.366
Takt Time	4	3	3	3.302	1.698
Genchi Genbutsu	4	3	2	2.884	2.116
Kanban	4	2	2	2.520	2.480
Hoshin Kanri	4	4	4	4.000	1.000
SMED	4	4	3	3.634	1.366
TPM	5	4	3	3.915	1.085
Heijunka	4	2	1	2.000	3.000

Lean Tool	Environmental Sustainability								Economic Sustainability								Social Sustainability							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Andon	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3
Gemba	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Poka Yoke	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Value Stream Mapping	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3
5 Whys	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Takt Time	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3
Genchi Genbutsu	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Kanban	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Hoshin Kanri	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
SMED	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2
TPM	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Heijunka	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3
	A1. Waste A2. Pollution A3. Emission A4. Land use A5. Energy use A6. Natural resource use A7. Reuse A8. Recycling								B1. Cost B2. MLT B3. OEE B4. Inventory turnover B5. Facility space use B6. Damage and loss B7. Stock-exchange value B8. Sales revenue								C1. Social responsibility C2. Perks and bonuses C3. Positive work environment C4. Occupational health and safety C5. Career development C6. Job satisfaction C7. Job security C8. Flexible work schedule							

0=N/A 1=Very Low 2=Low 3=Moderate 4=High 5=Very High

Belirsizliklerin Finansal Piyasalara Simetrik ve Asimetrik Etkisi: BIST Ulaştırma Endeksi Üzerine Bir Araştırma

Symmetric and Asymmetric Effects of Uncertainties on Financial Markets: A Study of the BIST Transportation Index

Ercüment Doğru¹ 

¹ (Dr. Öğr. Üyesi.), Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Ağlasun Meslek Yüksekokulu, Ulaştırma Hizmetleri Bölümü, Burdur, Türkiye

ÖZ

Küresel ölçekte ortaya çıkan ekonomik, siyasi, sosyal ve jeopolitik olaylar gibi belirsizliklerden kaynaklanan risklerin reel ve finansal piyasalar üzerinde etkileri bulunmaktadır. Özellikle finansal krizler, politik ve ekonomik olaylar gibi belirsizlik faktörlerine piyasanın nasıl tepki vereceğinin belirlenmesi risk yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi açısından önemlidir. Bu çalışma, BIST ulaştırma endeksine odaklanarak belirsizliklerin hisse senetleri üzerine olan simetrik ve asimetrik etkilerinin araştırılması amaçlanmaktadır. Bu amaçla, Mayıs 2013 – Eylül 2023 dönemi aylık verileri kullanılarak jeopolitik risk (GPR) endeksi ve küresel ekonomik politika belirsizliği (GEPU) endeksi ile BIST ulaştırma endeksi (XULAS) ve ulaştırma endeksinde yer alan şirketler arasındaki nedensellik ilişkisi Hacker ve Hatemi-J Bootstrap (2006) nedensellik testi ve Hatemi-J (2012) asimetrik nedensellik testi ile araştırılmıştır. Analizden elde edilen bulgular sonucunda jeopolitik risk endeksi ve BIST ulaştırma endeksi ile GEPU ve XULAS arasında karşılıklı nedensellik ilişkisi olduğu belirlenmiştir. Hatemi-J (2012) asimetrik nedensellik testi ile hem GPR hem de GEPU endeksinde ortaya çıkan pozitif şokların BIST ulaştırma endeksi ve ulaştırma endeksinde yer alan şirketlerin hisse senetlerindeki negatif şokların nedeni olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte, GEPU endeksindeki negatif şoklardan BIST ulaştırma endeksindeki pozitif ve negatif şoklara doğru nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. Araştırmada, yatırımcıların GPR ve GEPU endeksindeki değişimleri izlemesinin risk yönetimi açısından gerekli olduğu ortaya çıkmıştır.

ABSTRACT

Uncertainties arising from global economic, political, social, and geopolitical events affect real and financial markets. Determining the market's reaction to uncertainties, such as financial crises and political and economic events, is important for developing risk management strategies. This study investigates the symmetric and asymmetric effects of uncertainties on stocks by focusing on the BIST transportation index. To examine the causality relationship between the geopolitical risk (GPR) index and global economic policy uncertainty (GEPU) index with the BIST transportation index (XULAS) and among the companies within the transportation index, monthly data from May 2013 to September 2023 were used and analyzed using the Hacker and Hatemi-J Bootstrap (2006) causality test and Hatemi-J's (2012) asymmetric causality test. The study findings show a mutual causality relationship between the GPR index and the BIST transportation index and between GEPU and XULAS. The Hatemi-J (2012) asymmetric causality test suggests that positive shocks in both the GPR and the GEPU index cause negative shocks in the BIST transportation index and companies' stocks within the transportation index. However, it was concluded that negative shocks in the GEPU index can lead to causality relationships in both positive and negative shocks in the BIST transportation index. This study emphasizes the importance of monitoring GPR and GEPU indexes in managing risks.

Anahtar Kelimeler: Belirsizlik Endeksleri, Ulaştırma Sektörü, Hatemi-J (2012) Asimetrik Nedensellik

Keywords: Uncertainty Indices, Transportation Sector, Hatemi-J (2012) Asymmetric Causality

EXTENDED ABSTRACT

Investors operate in a financial environment with complex relationships between markets and assets. Moreover, uncertainties including economic, political, social, technological, and geopolitical factors, have significant effects on financial markets. This study provides information on investment strategies and policies related to the transportation sector by examining the impact

Corresponding Author: Ercüment Doğru **E-mail:** ercumentdogru@mehmetakif.edu.tr

Submitted: 23.11.2023 • **Revision Requested:** 11.01.2024 • **Last Revision Received:** 24.01.2024 • **Accepted:** 12.03.2024 • **Published Online:** 21.03.2024



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

of uncertainties on financial markets specific to the transportation sector. Therefore, we analyze the symmetric and causality relationship between the global economic policy uncertainty index (GEPU) and geopolitical risk index (GPR) as uncertainty indicators and the BIST transportation index (XULAS) and the companies in the index using monthly data of the variables from May 2013 to September 2023. First, the Hacker and Hatemi-J (2006) Bootstrap causality test was used to find the symmetric causality relationship between the variables. Then, the Hatemi-J (2012) asymmetric causality test was used to analyze the impact of positive and negative shocks on transportation sector.

The findings of Hacker and Hatemi-J (2006) Bootstrap causality test show a reciprocal causality relationship between the geopolitical risk index and the BIST transportation index and between the GEPU index and the BIST transportation index. While a unidirectional causality relationship exists between the geopolitical risk index and the CLEBI stock, a reciprocal causality relationship exists between the geopolitical risk index and GSDDE and PGSUS. Moreover, there is evidence of reciprocal causality between the GEPU index and PGSUS stocks. A unidirectional causality relationship was found between CLEBI and RYSAS and the GEPU index. The Hatemi-J asymmetric causality test was conducted to examine the effect of positive and negative shocks on the causality relationship between variables. Positive shocks in the geopolitical risk index were found to result in negative shocks in the BIST transportation index, whereas negative shocks in the BIST transportation index led to negative and positive shocks in the geopolitical risk index. A significant finding is that increases in the geopolitical risk index adversely affects companies in the transportation index. We conclude that negative shocks in the geopolitical risk index result in negative and positive shocks in CLEBI, positive shocks in GSDDE, and negative shocks in BEYAZ and PGSUS. Negative shocks in the GEPU index, another uncertainty index used in the study, led to negative shocks in the BIST transportation index and the transportation companies in the index. A causality relationship was found between positive shocks in the GEPU index and positive shocks in CLEBI, GSDDE, and THYAO stocks. A causality relationship exists between negative shocks of the GEPU index and those of CLEBI, GSDDE, and THYAO and between the negative and positive shocks of the BIST transportation index. We conclude that a causality relationship exists between the positive shocks of the BIST transportation index and all stocks and between the positive shocks of the GEPU index and from negative shocks to negative shocks of GEPU. In addition, causality is found between negative shocks of the BIST transportation index and BEYAZ, RYSAS, and THYAO stocks and positive shocks of the GEPU index.

These findings show that increases in the geopolitical risk index and the GEPU index negatively impact the transportation sector. This implies that uncertainty indices can be used as leading indicators for predicting changes in the transportation sector. It is important to know the symmetric and asymmetric effects of fluctuations in uncertainty indices on financial markets for managing risks and developing new strategies to offset these effects. Considering changes in general economic factors, geopolitical risks, and uncertainties is critical for portfolio management. This study uses global uncertainty indices. Further study will examine different global, categorical, or local uncertainty indices or different sectors and contribute to the literature.

1. Giriş

Finansal piyasalarda işlem yapan yatırımcılar ve şirketler çok karmaşık bir ekonomik ortamda faaliyet göstermektedirler. Ekonomik, politik, sosyal, teknolojik ve çevresel faktörleri içeren belirsizlikler, finansal piyasaların işleyişi ve seyri üzerinde önemli etkilere sahiptir. Bu belirsizlikler, yatırımcıların risk algısının değişmesine ve finansal varlık fiyatlarının dalgalanmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte, farklı aktarım mekanizmaları kanalıyla bir piyasada ortaya çıkan dalgalanma finansal bulaşma nedeniyle diğer finansal piyasaları ve varlıkları da etkilemektedir. Bu bağlamda, belirsizliklerin finansal piyasalar üzerindeki etkilerini anlamak ve analiz etmek, hem yatırımcılar hem de ekonomi ve finans alanındaki araştırmacılar için önemli bir konu haline gelmiştir.

Risk ve belirsizlik kavramları her ne kadar birlikte kullanılsa da temelde farklı kavramlardır. Risk ve belirsizliğin birbirinden farklı olduğunu ifade eden Knight (1921), risk ve belirsizlik arasındaki farklılığın, riskin gelecekte gerçekleşmesi muhtemel sonuçların olasılık dağılımlarının elde edilebilmesinden, belirsizliğin ise herhangi bir olayın gelecekteki muhtemel sonuçlarına ilişkin olasılık dağılımlarının bilimsel ve objektif yöntemlerle ortaya konulamamasından kaynaklandığını belirtmektedir. Muğlaklık ya da Knight belirsizliği olarak adlandırılan bu durum gelecekteki getirilerin olasılıklarının da bir olasılık dağılımına sahip olabileceği varsayımına dayanmaktadır. Dolayısıyla, yatırımcılar riskten kaçındığı gibi belirsizlikten de kaçınmaktadır (Altay, 2015: 46). Bu nedenle ortaya çıkan belirsizliklerin sonuçlarını tahmin edemeyen yatırımcıların yapacağı işlemler finansal varlık fiyatlarında ve finansal piyasalarda dalgalanmalara neden olmaktadır. Dünyamız, son otuz yıllık süreçte gelişmiş ve gelişmekte olan ekonomilerde finansal ve reel küreselleşmenin artmasına tanıklık etmiştir. Finansal piyasalarda ortaya çıkan küresel entegrasyon, serbest ticaret bölgelerinin ve para birliklerinin oluşturulmasına bağlı olarak güçlenmiş, belirli ülkelerde veya bölgelerde yaşanan ekonomik şokların dünyanın diğer bölgelerine aktarılması daha da kolaylaşmıştır (Gong vd., 2022: 1). Ortaya çıkan belirsizliğin mikro ve makro değişkenler üzerinde meydana getirmesi muhtemel değişikliklerin diğer ülkelere de yayılma etkisi çerçevesinde etkisinin sınanması gerekmektedir. Belirsizlik ortamında bir piyasada ortaya çıkan sert hareketler ve derinleşmeler piyasada düşüşü ifade eden ayı piyasasına ya da yükselişi ifade eden boğa piyasasına neden olabilmektedir. 2008 Küresel Finans Krizinde görüldüğü üzere, ABD borsası özelindeki belirsizliklerin derinleşmesi, ayı piyasasının yaşanmasına ve literatürde yayılma-bulaşma- domino etkisi olarak tanımlanan durumun ortaya çıkarak belirsizliğin diğer ülkelere de sirayet etmesine neden olmuştur (Sadeghzadeh

Emsen ve Aksu, 2020: 430-431). Literatürde, belirsizlik göstergesi olarak VIX, DXY, CDS risk primi, OVX, EPU, GPR ve GFSI gibi farklı değişkenlerin kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır.

Ekonomik belirsizliklerin makro ekonomi ve finansal piyasalardaki dalgalanmalar üzerinde önemli bir rolü bulunmaktadır (Lyu vd., 2021). Baker vd. (2016) tarafından ekonomik politika belirsizliğini ölçmek için gazete haber sıklığına dayalı olarak geliştirilen ekonomik politika belirsizliği endeksi (EPU), borsa oynaklığı ve getirileri arasındaki bağlantıyı inceleyen akademisyenlerin yoğun ilgisini çekmiştir. Davis (2016) ise, küresel çıktının yaklaşık %71'ini gerçekleştiren 21 ülkenin¹ ulusal EPU endekslerinin GSYH ağırlıklı ortalamasını alarak küresel ekonomik politika belirsizliği endeksini (GEPU) geliştirmiştir (Li vd., 2020; https://www.policyuncertainty.com/global_monthly.html). Literatürde sıklıkla kullanılan bir diğer belirsizlik endeksi ise Caldara ve Iacoviello (2022) tarafından geliştirilen jeopolitik risk (GPR) endeksidir. 10 gazetenin elektronik arşivlerinin otomatik metin arama sonuçlarını yansıtan bu endeks, her ay için her bir gazetede olumsuz jeopolitik olaylarla ilgili makalelerin sayısının toplam haberlerin payı şeklinde alınarak hesaplanmaktadır.² Daha yüksek jeopolitik risk düşük yatırım ve daha az istihdam anlamına gelmektedir. GPR endeksinin olumsuz sonuçları hem jeopolitik olayların gerçekleşmesinden hem de bu olayların tehdidinden kaynaklanmaktadır. Jeopolitik riske maruz kalan sektörlerde yatırım miktarı daha fazla düşmektedir (Caldara ve Iacoviello, 2022: 1194). Tedarik zincirleri, coğrafı konum ve piyasadaki dalgalı talep nedeniyle petrol ile ilgili endüstriler ve iş kolları jeopolitik risk (GPR) ve ekonomik politika belirsizlik endeksindeki (EPU) değişimlere maruz kalabilmektedir. Örneğin Mart 2020'de OPEC ve Rusya arasına artan gerilimin bir sonucu olarak Brent petrol fiyatı %54,99, WTI petrol fiyatı da %54,24 gibi bir oranda düşüş göstermiştir. 2008 Küresel Finans Krizinde ise yükselen EPU endeksi ile birlikte petrol fiyatlarında da ciddi bir düşüş yaşanmıştır (Gu vd., 2021: 1). Son dönemde COVID-19 korona virüs salgınının sebep olduğu belirsizlik ve endişe ortamında hisse senedi piyasalarında da önemli değişiklikler meydana gelmiştir. Finansal piyasa aktörlerinin geleceğe dair beklentileri ve kaygıları dünyanın büyük borsalarında da dalgalanmalara neden olmuştur (Ertuğrul Ayrancı ve Arı, 2021: 3771). Bu dönemde EPU'nun neden olduğu finansal riskin daha da arttığı ve borsa dalgalanmalarına yol açma olasılığının daha yüksek olduğu açıklar (Zhu vd., 2022: 2).

Ülkeler arasında karşılıklı ticari ve kültürel faaliyetlerin artması ulaştırma sektörünün önemini artırmıştır. Ülkeler arasında artan ticari ve kültürel faaliyetlerin bir sonucu olarak bu sektörde yer alan firmaların sayısı ve mevcut firmaların yaptığı yatırımlar artmış; sektördeki büyüme potansiyelinden faydalanmak isteyen firmalar halka açılarak ya da halka açık olanlar sermaye artırımını yaparak finansman ihtiyacını karşılamaya yönelmişlerdir. Uluslararası ticaretin artışına paralel olarak sektörün gelecekte daha büyüyeceği beklentisi, yatırımcıların ilgisini ulaştırma sektörüne çekmektedir (Avcı, 2019: 1414). Ulaştırma sektörü bir ekonomide faaliyette bulunan tüm iş kolları ile yakın bir ilişki içerisinde olduğundan diğer sektörlerde faaliyetin devamlılığı için önemli bir görev üstlenmektedir. Ulaştırma sektörü kanalıyla yapılan üretim girdisi ve ürün sevkiyatları ile diğer sektörlerin faaliyetleri aksamadan devam etmektedir. Dünya genelinde ticaret hacminin artması ve yeni ticaret yolları ile yeni pazarlara ulaşılması ulaştırma sektörünün ekonomideki ağırlılığını arttırmıştır (Pala, 2021: 265). Dünya genelinde taşımacılık ve lojistik faaliyetlerinin işlevlerini yerine getirmesine bağlı olarak ticaret hacmi büyümüş, insanların ve malların zamanında, verimli ve güvenli bir şekilde hareket etmesi sağlanmıştır (Soares vd., 2022:1).

Dünyada ve ülkemizde hızlı bir şekilde büyüyen ulaştırma sektörü içerisinde yer alan firmalara yatırımcıların ilgisi de gündün güne artmaktadır. Mikro ölçekli sektöre özgü bazı değişkenler ile makro ekonomik faktörler sektör içerisinde yer alan firmaların hisse senedi fiyatlarında değişime neden olmaktadır. Ekonomik belirsizlik ortamında yatırımcıların finansal risklerinin en aza indirilebilmesi için hisse senedi fiyatlarının doğru tahmini önemlidir (Çınarcıoğlu ve Avcı, 2020: 3). Hisse senedi ile ilgili piyasa endeksleri diğer hisse senedi yatırımları ile kıyaslama imkânı sundukları için yatırımcıların ilgi odağı olmuştur. Ancak, endeksin oluşturulması aşamasında örneklem seçiminin ve endeks hesaplama yönteminin farklılığı, aynı piyasada hesaplanan endekslerden farklı sonuçlar alınmasına neden olmaktadır. Piyasa endeksi, hisse senetlerinin işlem gördüğu borsa tarafından hesaplanabileceği gibi bağımsız kuruluşlar tarafından da hesaplanabilmektedir. Ancak burada endeksin tercih edilmesindeki en önemli husus endeksin piyasayı ne kadar doğru bir şekilde yansıttığıdır. Bununla birlikte endeksin tercih edilmesinde rol oynayan bir diğer husus ise yatırımcıların bu endekse ulaşım kolaylığı ve ulaşım hızıdır (Dağlı, 2000: 194). Anlık olarak ulaşılabilen ve piyasayı tam anlamı ile temsil edebilen endeksler yatırımcılar tarafından daha fazla izlenmektedir. BIST'te yer alan sektör endeksleri sektörün genel durumu hakkında bilgi vermekte, yatırımcıların stratejik yatırım kararlarının oluşturulmasında önemli roller üstlenmektedir (Özcan Akdağ vd., 2022: 2722).

Ekonomik, politik, finansal ve jeopolitik belirsizlikleri ölçmek için kullanılan belirsizlik endeksleri, piyasa koşulları, enerji fiyatları ve politika değişiklikleri gibi faktörler üzerinde ortaya çıkarılabileceği riskler nedeniyle takip edilmektedir. Bununla birlikte küresel talepteki değişimler, petrol fiyatlarındaki dalgalanmalar ve lojistik ile ilgili sıkıntılar gibi belirsizlik kaynağı faktörlerin firmaların faaliyetleri üzerinde doğrudan etkileri bulunmaktadır. Geleceğe yönelik belirsizliklerin artması küresel ekonomik faaliyetlerde ve finansal piyasalarda dalgalanmalara neden olacağı için hisse senetlerinin performansını da etkilemektedir. Örneğin, 2020 yılında yaşanan COVID-19 pandemisi döneminde kapanmalardan en fazla etkilenen sektörlerin başında ulaştırma sektörü

¹ ABD, Almanya, Avustralya, Brezilya, Çin, Fransa, Güney Kore, Hindistan, Hollanda, İngiltere, İrlanda, İspanya, İsveç, İtalya, Japonya, Kanada, Kolombiya, Meksika, Rusya, şili, Yunanistan.

² <https://www.matteoiacoviello.com/gpr.htm> (Erişim tarihi: 12.11.2023)

gelmektedir. Bununla birlikte, ekonomideki talep azalışı ya da artışlarının da sektör üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Ulaştırma sektörü döviz kuru ve petrol fiyatları başta olmak üzere jeopolitik, siyasi ve sosyal bazı risklere maruz kalmaktadır. Ekonominin temel taşlarından olan ulaştırma sektörü ve bu sektörde faaliyet gösteren şirketler ekonomik, politik ve sosyal olaylara bağlı dalgalanmalardan etkilenmektedir. Bu nedenle, belirsizliklerin sektör üzerindeki simetrik ve asimetrik etkilerini anlamak hem yatırımcılar hem de işletmeler için bir zorunluluk haline gelmektedir.

Literatürde belirsizlik endeksleri ile sektör endeksleri arasındaki ilişkiyi inceleyen sınırlı sayıda araştırma bulunmaktadır. Ancak, belirsizliklerin ulaştırma sektör endeksi ve endekste yer alan şirketler üzerine simetrik ve asimetrik etkisini inceleyen bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışma, Türkiye'deki en önemli sektörlerden biri olan BIST ulaştırma endeksine odaklanarak; belirsizliklerin BIST ulaştırma endeksi üzerinde nasıl bir etkisinin olduğunu ve belirsizlik endekslerinde ortaya çıkan negatif ve pozitif şokların BIST ulaştırma endeksi ve endekste yer alan şirketler üzerindeki simetrik ve asimetrik etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. Değişkenler arasındaki neden-sonuç ilişkisinin tespiti amacıyla, jeopolitik risk (GPR) endeksi ve küresel ekonomik politika belirsizliği (GEPU) endeksi ile BIST ulaştırma endeksi (XULAS) ve ulaştırma endeksinde yer alan şirketler arasındaki simetrik nedensellik ilişkisi Hacker ve Hatemi-J (2006) Bootstrap nedensellik testi ile asimetrik nedensellik ilişkisi ise Hatemi-J (2012) asimetrik nedensellik testi ile araştırılmıştır. Analizde değişkenlerin Mayıs 2013 – Eylül 2023 dönemi aylık verileri kullanılmıştır. Çalışmanın bundan sonraki bölümleri şu şekilde takip edecektir. İkinci bölümde, ulaştırma endeksi ve belirsizlik endeksleri ile ilgili literatürden bahsedildikten sonra, üçüncü bölümde araştırmada kullanılacak yöntemler hakkında bilgi verilecektir. Son bölümde ise; veri seti ve analiz sonuçları sunulurken, elde edilen bulgular yorumlanacaktır.

2. Literatür Özeti

Bu bölümde ilk olarak, ulaştırma endeksi ile ilgili çalışmalara yer verildikten sonra, belirsizlik endekslerinin hisse senedi piyasalarına etkisini inceleyen araştırmalardan bahsedilecektir.

Abdioğlu ve Değirmenci (2014), petrol fiyatları ile BIST Tüm endeksi ve BIST'te yer alan 24 sektör endeksi arasındaki ilişkiyi Granger nedensellik ve Johansen eş bütünleşme testi ile araştırmışlardır. Petrol fiyatları ile gıda ve kâğıt, finansal kurumlar, gayrimenkul yatırım ortaklığı, elektrik, spor, turizm ve ulaştırma sektör endeksleri arasında nedensellik ilişkisinin olmadığı; petrol fiyatları ile ticaret sektör endeksi arasında ise çift yönlü nedensellik ilişkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca petrol fiyatları ile kimya ve tekstil, sanayi ve iletişim sektör endeksleri arasında uzun dönemli ilişki olduğu saptanmıştır. Kendirli ve Çankaya (2016), petrol fiyatı ile BIST 100 ve BIST ulaştırma endeksi arasındaki nedensellik ilişkisini araştırdıkları çalışmalarında, BIST 100 endeksinden petrol fiyatı ve BIST ulaştırma endeksine, BIST ulaştırma endeksinden de petrol fiyatına doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi olduğunu belirlemişlerdir. Kuzu (2017) petrol fiyatı, üretici fiyat endeksi, sanayi üretim endeksi, faiz oranları ve döviz kuru ile BIST 100, BIST 30, BIST elektrik, BIST kimya, BIST sanayi, BIST teknoloji ve BIST ulaştırma endeksleri arasındaki ilişkiyi Varyans ayrıştırma, etki-tepki fonksiyonu ve Hatemi-J nedensellik testi ile incelediği çalışmasında; petrol fiyatlarının endeksler üzerindeki etkisinin sınırlı kaldığını, faiz oranları ve döviz kurunun kullanılan endekslerin çoğu üzerinde güçlü etkisinin olduğunu bulmuştur. Ayrıca petrol fiyatlarının BIST Ulaştırma endeksinin varyansını açıklama gücünün az olduğu görülmüştür. Eyüboğlu ve Eyüboğlu (2018), Dolar/TL ve Euro/TL döviz kurlarının BIST 100 ve BIST'te yer alan 23 sektör endeksi üzerindeki etkisini ARDL modeli ve Toda-Yamamoto nedensellik testi ile inceledikleri çalışmalarında, Euro/TL ile BIST tekstil deri endeksi arasında ve Dolar/TL döviz kuru ile BIST tekstil deri, BIST ticaret ve BIST teknoloji endeksleri arasında uzun dönemli ilişki olduğunu tespit etmişlerdir. Dolar/TL döviz kuru ve Euro/TL döviz kuru ile BIST ulaştırma endeksi arasında uzun dönemli bir ilişkinin varlığına dair bir bulgu elde edilemezken, Dolar/TL ve Euro/TL döviz kurlarından BIST ulaştırma endeksine doğru tek yönlü nedensellik olduğu sonucuna varmışlardır.

Oralbaykızı Syzdykova (2019), petrol fiyatı ile BIST 100, BIST ulaştırma, BIST kimya ve BIST sanayi endeks getirileri arasındaki ilişkiyi incelediği çalışmasında, petrol fiyatlarında ortaya çıkan şoklara BIST kimya ve BIST sanayi endekslerinin ilk beş ay boyunca pozitif tepki verdiğini, beşinci aydan sonra şoklara verilen tepkinin azaldığını göstermiştir. Varyans ayrıştırma yöntemi ile BIST 100'ü en fazla açıklayan değişkenlerin kendisi ve reel efektif döviz kuru olduğu, petrol fiyatındaki değişimin ise endeks getirilerini açıklamakta yetersiz kaldığı saptanmıştır. Gümüş ve Hacıevliyagil (2020), COVID-19 pandemisi kaynaklı vaka ve ölüm sayılarının BIST ulaştırma ve turizm endeksleri üzerindeki etkisini ölçmek için ARDL Sınır Testi yaklaşımını kullanmışlardır. Analiz sonucunda vaka sayıları ile ulaştırma ve turizm endeksleri arasında herhangi bir ilişki olmadığı, buna karşılık ölüm sayıları ile endekslerin uzun dönemde eşbütünleşik olduğu ve ters yönlü hareket ettiği tespit edilmiştir. Tayar vd. (2020), COVID-19 salgının BIST'te yer alan sektör endeksleri üzerine etkisini inceledikleri çalışmalarında; salgının elektrik, ulaştırma, teknoloji, mali ve sanayi sektör endeksleri üzerinde anlamlı ve negatif etkisinin olduğunu belirlemişlerdir. Alıcı (2020) döviz kuru ve faiz oranı ile BIST 100 ve BIST ulaştırma endeksi arasındaki simetrik ve asimetrik nedensellik ilişkisini araştırdığı çalışmada; döviz kurundan BIST100 ve BIST ulaştırma endeksine doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi olduğunu bulmuştur. Ayrıca döviz kurunda yaşanan pozitif ve negatif şoklar ile BIST 100 endeksinde yaşanan pozitif ve negatif şoklar arasında karşılıklı çift yönlü nedensellik olduğu, dolar kurunda yaşanan pozitif şokların BIST ulaştırma endeksi üzerinde negatif etkisinin bulunduğu belirlenmiştir. Bulgular, dolar kurunun BIST ulaştırma endeksini tahmin etmek için referans olarak kabul edilebileceğini, faiz oranındaki değişimlerin ise BIST ulaştırma endeksindeki değişimleri açıklama gücünün olmadığını göstermiştir. Kiracı (2020), DXY'den BIST ulaştırma

endeksine doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi olduğu, petrol fiyatlarında ortaya çıkan pozitif ve negatif şoklardan BIST Ulaştırma endeksindeki pozitif ve negatif şoklara doğru nedensellik olduğu gözlenmiştir. Sadeghzadeh Emsen ve Aksu (2020), ekonomik politika belirsizlik endeksi (EPU) ile BIST 100 endeksi arasındaki simetrik ve asimetrik ilişkiyi incelemişlerdir. Değişkenler arasında simetrik bir ilişkinin varlığına dair bir bulgu elde edilememiştir. Bununla birlikte uzun dönemde belirsizlik endeksinde ortaya çıkan pozitif ve negatif şokların BIST 100 endeksinin ters yönde etkilediği saptanmıştır.

Eyceyurt Batir ve Salihoglu (2021), COVID-19 vaka sayılarındaki değişimin BIST turizm, ulaştırma, hizmet ve gıda endeks getirileri üzerine etkisini Kalıntılarla Artırılmış En Küçük Kareler (RALS) Regresyon analizi ile inceledikleri çalışmada, COVID-19 toplam vaka sayılarındaki değişimin BIST gıda, hizmet, turizm ve ulaştırma sektör endeks getirilerini ters yönde etkilediği görülmüştür. Münyas (2021), petrol fiyatlarının BIST kimyasal, petrol ve plastik, sanayi ve ulaştırma endeksleri üzerindeki kısa ve uzun dönemli etkisini Bayer ve Hanck (2013)'in geliştirdiği eşbütünleşme testi ile incelemiştir. Analizde petrol fiyatlarının sektör endeksleri üzerindeki etkisinin kısa dönemde yüksek olduğu, uzun dönemde bu etkinin azalarak devam ettiği ve değişken değerlerinin denge noktasına geldiği gözlenmiştir. Ertuğrul Ayrancı ve Arı (2021), COVID-19 pandemisi vaka sayısı ile BIST sektör endeksleri arasındaki ilişkiyi araştırdıkları çalışmalarında, BIST mali endeksi hariç vaka sayısı ile BIST sektör endeksleri arasında uzun dönemli ve anlamlı bir ilişki olduğu ve vaka sayısının BIST sanayi endeksi üzerindeki olumsuz etkisinin daha fazla olduğu saptanmıştır. İtaş ve Güzel (2021), VIX endeksi ve CDS risk primi ile BIST 100 endeksi arasındaki nedensellik ilişkisini Fourier Toda-Yamamoto nedensellik testi ile analiz ettikleri çalışmalarında, BIST 100 endeksi ile CDS risk primi arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi tespit ederlerken, VIX endeksinden BIST 100 endeksine doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Güngör vd. (2021), Türkiye'deki COVID-19 vaka ve ölüm sayılarının BIST turizm, ulaştırma ve yiyecek-içecek sektör endeksleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Ölüm ve vaka sayıları ile BIST turizm endeksi arasında uzun dönemli ilişkinin olduğu, BIST ulaştırma ve yiyecek-içecek endeksi ile aralarında herhangi bir ilişkinin olmadığı bulunmuştur.

Tuncay (2021), VIX endeksi ile BIST'teki yedi sektör endeksi arasındaki volatilité etkileşiminin CCC-GARCH modeli ile incelediği çalışmasında, BIST ulaştırma endeksi ile VIX arasında volatilité etkileşiminin olmadığını belirlemiştir. Ayrıca, BIST turizm endeksi ile VIX arasında karşılıklı volatilité etkileşimi olduğuna ve BIST sınai, ticaret ve hizmet sektör endekslerinden VIX endeksine doğru tek yönlü volatilité etkileşiminin varlığına dair bulgulara ulaşılmıştır. şeker ve Atasel (2022), COVID-19 pandemisinin BIST ulaştırma endeksi ve endekste yer alan 8 şirket üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Elde edilen bulgular, COVID-19'un pandemi olarak ilanının XULAS endeksinin ve endekste yer alan şirketleri negatif yönde etkilediğini ortaya çıkarmıştır. Sizer ve Karagöz (2022), ARDL sınır testinden elde edilen bulgularla petrol fiyatı ile BIST ulaştırma endeksi arasında uzun dönemli bir ilişkinin olmadığı, NARDL sınır testi ile petrol fiyatlarında meydana gelen pozitif ve negatif şokların kısa ve uzun dönemde BIST ulaştırma endeksine asimetrik etkisinin olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Güneş ve Kaya (2022), petrol fiyatı ile BIST 100, BIST kimya, sınai ve ulaştırma endeksleri arasında tek yönlü Granger nedensellik ilişkisinin olduğunu saptamıştır. DCC-GARCH modelinden elde edilen bulgular ise petrol fiyatı ile seçili endeksler arasında volatilité yayılımının olmadığını ortaya koymuştur.

Yu vd. (2018) GEPU'nun hisse senedi piyasaları üzerindeki etkisini araştırmak için GARCH-MIDAS modelini kullandıkları çalışmalarında, GEPU'nun Çin hisse senedi piyasasının volatilitesi üzerinde olumlu ve anlamlı bir etkisinin bulunduğu ve uzun dönemli volatilitenin tahmininde etken olduğu görülmüştür. Li vd. (2020) GEPU'nun Çin hisse senedi piyasasının volatilitesi üzerindeki etkisini araştırmışlar, GEPU'daki aşağı ve yukarı yönlü hareketlerin Çin hisse senedi piyasasının volatilitesini önemli ölçüde artırabileceğini ve GEPU'nun volatilité tahmini konusunda öncü olabileceğini ortaya koymuşlardır. Zeng vd., (2022), kategorik EPU endekslerinin borsa getirileri için öngörülebilirliğe sahip olup olmadığını araştırmışlardır. Ampirik sonuçlar, kategorik EPU endekslerinin hisse senedi piyasası getirisini anlamlı bir şekilde öngörebildiğini göstermiştir. Buna ek olarak, kategorik EPU endekslerinin içerdiği bilgilerin, alım satım maliyeti ve yatırımcının riskten kaçınma katsayıları dikkate alındığında bile geleneksel makroekonomik değişkenlerden daha yüksek ekonomik kazanımlara neden olabileceğini ortaya çıkarmışlardır. Guo vd. (2023) ekonomik politik ve kategorik ekonomik politika belirsizlik endekslerinin Çin hisse senedi piyasaları ile geleneksel/yeşil tahviller üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmalarında; ekonomik politika belirsizlik endeksinin hisse senetleri ve yeşil tahvillerin volatiliteleri üzerinde negatif bir etkiye sahip olduğunu ve yeşil tahviller ile hisse senetleri arasındaki korelasyonu güçlendirdiğini belirlemişlerdir.

Mensi vd. (2023), petrol (OVX), altın (GVZ), hisse senedi (VIX) belirsizlik endeksleri ve ekonomik politika belirsizlik endeksi (EPU) ile hisse senedi piyasaları arasındaki yayımları ve bağlantılılığı farklı piyasa koşulları altında (normal, düşüş ve yükseliş) inceledikleri çalışmalarında; belirsizlik endekslerinin ayı ve normal piyasa koşullarında net yayılım vericisi, boğa piyasasında ise net yayılım alıcısı olduğunu ortaya koymuşlardır. Maquieira vd. (2023) ise GEPU ve EPU'nun bakır şirketlerinin hisse senedi getirileri üzerine etkisini incelemişler ve GEPU'nun yükseldiği dönemlerde GEPU ile hisse senedi getirileri arasında negatif, GEPU'nun düştüğü dönemlerde ise pozitif bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir. Liang vd. (2023) çalışmalarında belirsizlikleri temsilen GFSI, VIX, USEPU, GEPU ve GPR endekslerinin 21 uluslararası hisse senedi endeksinin gerçekleşen volatilitesini tahmin gücünü ölçmüşler, belirsizlik endeksleri arasında en iyi tahmin performansı gösteren değişkenin GFSI olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Han ve Li (2023) ise GEPU'nun küresel hisse senedi, tahvil, emtia, temiz enerji ve bitcoinin uzun vadeli volatiliteleri üzerindeki asimetrik etkisini inceledikleri çalışmalarında, portföy oluşturulurken GEPU'nun etkisinin dikkate alınması gerektiğini ifade etmektedirler.

Foglia vd. (2023), G8 ülkelerinin jeopolitik risk endekslerinin emtia piyasaları üzerindeki dinamik etkisini inceledikleri çalışmalarında; enerji sektörünün jeopolitik risklerden en fazla etkilenen sektör olduğunu, jeopolitik risk iletiminin ülkeden ülkeye farklılık gösterdiğini ve genellikle coğrafi yakınlığa bağlı olduğunu belirlemiştirler. Zheng vd. (2023), GPR'nin küresel finansal piyasalar arasındaki çapraz piyasa risk yayılımlarını etkilediği, risk yayılımlarının asimetrik olduğu ve negatif risk değişikliklerini dikkate alan risk yayılımlarının daha baskın olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bouri vd. (2023) belirsizlik unsuru olarak OVX ve GPR endekslerini kullanarak, endekslerin GCC üyesi ülkelerinin sektörel bazda hisse senedi piyasalarına etkisini araştırmışlardır. Boğa piyasasında belirsizliklerin hem getiri hem de volatilité üzerindeki etkisinin büyük ölçüde pozitif olduğu, özellikle tüketici ihtiyaçları ve dayanıklı malzeme sektöründe petrol zımnı oynaklığının etkisinin GPR'ye göre daha güçlü olduğu bulunmuştur.

Bununla birlikte, literatürde haber duyarlılığının önemine vurgu yapan çalışmalarda bulunmaktadır. Örneğin; Lu ve Lang (2023) kategorik Çin ekonomik politika ve Twitter tabanlı belirsizlik endekslerinin Çin hisse senedi piyasa volatilitésini tahmin etmek için kullanılabilirliğini ifade etmektedirler. Yan vd. (2022)'de Çin ham petrol vadeli işlem volatilitésini tahmin ederken birkaç ekonomik politika belirsizlik endeksinin dikkate alınmasının gerekliliğine işaret etmektedirler. Chen vd. (2023), kategorik EPU endekslerinin hisse senedi piyasa getirileri için öngörü yeteneğini araştırdıkları çalışmalarında Şubat 1985 ile Aralık 2021 tarihleri arası aylık verileri kullanmışlardır. Kategorik bazı EPU endekslerinin hisse senedi getirilerini tahmin etme konusunda üstün bir tahmin etme kabiliyetine sahip olduğunu ve hatta orijinal EPU endeksinden ve popüler bazı tahmincilerden daha yüksek gerçekleşen fayda elde edildiğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca, EPU kategorilerine dayalı yayılım endekslerinin, özellikle temel bileşenleri ortaya çıkarmak için kısmi en küçük kareler (PLS) yöntemini kullananların, kategorik EPU endekslerinde yer alan tahmin bilgilerini daha etkin bir şekilde kullandığı, bu durumun tahmin hatalarını azalttığı ve yatırımcılar için artan ekonomik değer de dahil olmak üzere gelişmiş tahmin performansı ile sonuçlandığı görülmüştür.

Literatür incelendiğinde elde edilen bulguları, belirsizlik endekslerinin hisse senedi piyasaları üzerinde önemli etkilerinin olduğu, hisse senedi piyasalarının getirilerini ve volatilitésini tahmin gücünün yüksek olduğu ve bu nedenle belirsizlik endekslerindeki değişimin izlenmesi gerektiği şeklinde özetlemek mümkündür.

3. Metodoloji

Çalışmada değişkenler arasında nedensellik ilişkisinin olup olmadığı, nedensellik var ise yönünün ne olduğu simetrik ve asimetrik nedensellik testleri ile incelenecektir. Hacker ve Hatemi-J (2006) bootstrap nedensellik testi değişkenler arasında nedensellik ilişkisinin varlığını araştırma imkanı sunmakta, ancak pozitif ve negatif şokların etkisini ölçmemektedir. Bundan dolayı çalışmada, değişkenlere ait kümülatif şokları kullanarak pozitif ve negatif şokların etkisini incelemek amacıyla Hatemi-J (2012) asimetrik nedensellik testine de yer verilmiştir. Bu bölümde çalışmada kullanılan simetrik ve asimetrik nedensellik testleri ile ilgili bilgi verilecektir.

Hacker ve Hatemi-J (2006), boyut bozulmalarını azaltmak için kaldıraçlı bir bootstrap dağılımının kullanılması gerektiğini ifade etmektedirler. Toda-Yamamoto nedensellik testi VAR modelinde gecikme ya da gecikmelerin artırılması esasına dayanmaktadır. Aşağıdaki denklem ile gösterilen bir VAR(p) sürecinde (Hacker ve Hatemi-J, 2006: 1489-1491);

$$y_t = v + A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (1)$$

y_t , v ve ε_t n boyutlu vektör ve A_p , r gecikmesi için $n \times n$ boyutlu parametre matrisidir. Hata vektörü olan t ; sıfır ortalamalı, bağımsız ve ε_{it} , ε_t 'nin i . elemanı olmak üzere λ 'nin bazı pozitif değerleri için $E|\varepsilon_{it}|^{2+\lambda} < \infty$ koşulunu sağlayan tekil olmayan Σ_ε kovaryans matrisine sahip özdeş dağılımlı bir süreçtir. Toda ve Yamamoto (1995) entegre değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisini test etmek için arttırılmış VAR (p+d) modelini geliştirmiştir:

$$y_t = \hat{v} + \hat{A}_1 y_{t-1} + \dots + \hat{A}_p y_{t-p} + \hat{A}_{p+d} y_{t-p-d} + \hat{\varepsilon}_t \quad (2)$$

Değişkenlerin üstündeki işaret OLS tahminini ifade etmektedir. Modelde sürecin p derecesinin bilindiği ve d 'nin değişkenlerin maksimum bütünleşme derecesine eşit olduğu varsayılmaktadır. Aşağıda gösterilen hipotez reddedilmediği takdirde, y_t 'nin k 'nci elemanı y_t 'nin j 'inci elemanının Granger nedeni olamaz;

$H_0 : r = 1, \dots, p$ için A_r 'nin j satırı, k sütunu elemanı sıfıra eşittir.

Ekstra gecikme ya da gecikmeler için d parametresi Granger nedensellik testinde kısıtlanmamıştır. Toda ve Yamamoto (1995)'ya göre bunun nedeni, modelde asimptotik dağılım teorisinin kullanımının sağlanmasıdır. Toda-Yamamoto test istatistiğini tanımlamadan önce, örneklem büyüklüğü T sıralı denklemler ile aşağıdaki şekilde gösterilmelidir:

$$Y := (y_1, \dots, y_T) \quad (n \times T) \text{ boyutlu matris} \quad (3)$$

$$\hat{D} := (\hat{v}, A_1, \dots, \hat{A}_p, \dots, \hat{A}_{p+d}) \quad (n \times (1 + n(p + d))) \text{ boyutlu matris;} \quad (4)$$

$$Z_t := \begin{bmatrix} 1 \\ y_t \\ y_{t-1} \\ \vdots \\ y_{t-p-d+1} \end{bmatrix} \left((1+n(p+d)) \times 1 \right) \text{ boyutlu matris, } t = 1, \dots, T \quad (5)$$

$$Z := (Z_0, \dots, Z_{T-1}) \left((1+n(p+d)) \times T \right) \text{ boyutlu matris} \quad (6)$$

$$\hat{\delta} := (\hat{\varepsilon}_1, \dots, \varepsilon_T) \left(n \times T \right) \text{ boyutlu matris} \quad (7)$$

Bu notasyon yardımıyla tahmini sabit terimli (\hat{v}) bir tahmini VAR($p+d$) modeli aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$Y = \hat{D}Z + \hat{\delta} \quad (8)$$

Kısıtsız regresyondan elde edilen tahmini artıkların ($n \times T$) boyutlu matrisi olan $\hat{\delta}_U$ tahmin edilir. Ardından bu artıkların varyans-kovaryans matrisi $S_U = \hat{\delta}'_U \hat{\delta}_U / T$ ile hesaplanır. $\beta = \text{vec}(v, A_1, \dots, A_p, 0_{n \times nd})$ ve $\hat{\beta} = \text{vec}(\hat{D})$ gösteriminde, vec sütun yığıma operatörünü ve $0_{n \times nd}$ ise n satırlı, $n(d)$ sütunlu sıfır matrisini göstermektedir. Toda ve Yamamoto (1995) tarafından geliştirilen ve Granger nedenselliğin olmadığını test etmek için kullanılan modified Wald (MWALD) test istatistiği aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$MWALD = (C\hat{\beta})' [C((Z'Z)^{-1} \oplus S_U)C']^{-1} (C\hat{\beta}) \quad (9)$$

Denklemden \oplus sembolü Kronecker çarpımını, C sembolü ise $p \times n(1+n(p+d))$ matrisini sembolize etmek üzere, C' 'nin p satırlarının her biri β 'daki bir parametrenin sıfıra kısıtlanması ile ilişkilidir. Sıfır hipotez altında ilgili β parametresi sıfır ise C matrisinin satır elemanları bir değerini alırken; herhangi bir kısıtlama yoksa sıfır değerini almaktadır. Bununla birlikte, C matrisindeki satırların $0_{n \times nd}$ matrisine karşılık gelen β parametresindeki son n^2 (d) elemanları üzerindeki kısıtlamalarla ilişkisi bulunmamaktadır. Buradan hareketle, Granger nedenselliğin olmadığını test etmek için kurulan boş hipotez aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$H_0 : C\beta = 0$$

MWALD test istatistiği asimptotik olarak χ^2 dağılımına sahip olup, serbestlik derecesi test edilecek kısıtlama sayısı olan p 'ye eşittir.

Hacker ve Hatemi-J (2006)'nin geliştirdiği bootstrap nedensellik testi, sadece iki değişken arasındaki nedensel ilişkiyi incelemekte, pozitif ve negatif şokların etkisini dikkate almamaktadır. Bu eksiklikten yola çıkan Hatemi-J (2012), stokastik hata terimlerini pozitif ve negatif şoklara ayırarak bir değişkendeki pozitif (negatif) değişimlerin başka bir değişken üzerindeki pozitif (negatif) değişimler ya da farklı kombinasyonlar üzerindeki etkisini araştırma imkanı sunan asimetrik nedensellik testini geliştirmiştir (Soon ve Zubaidi Baharumshah, 2020: 69). Bütünleşik iki değişken olan y_{1t} ve y_{2t} arasındaki nedensel ilişkiyi aşağıdaki denklemler ile ifade etmek mümkündür (Hatemi-J, 2012: 449);

$$y_{1t} = y_{1t-1} + \varepsilon_{1t} = y_{1,0} + \sum_{i=1}^t \varepsilon_{1i} \quad (10)$$

$$y_{2t} = y_{2t-1} + \varepsilon_{2t} = y_{2,0} + \sum_{i=1}^t \varepsilon_{2i} \quad (11)$$

Burada $t=1,2,\dots,T$ olmak üzere; sabit terim olan $y_{1,0}$ ve $y_{2,0}$ başlangıç değerlerini, ε_{1i} ve ε_{2i} beyaz gürültü hata terimlerini ifade etmektedir. Pozitif ve negatif şoklar ise aşağıdaki gibi gösterilmektedir:

$$\varepsilon_{1i}^+ = \max(\varepsilon_{1i}, 0), \varepsilon_{2i}^+ = \max(\varepsilon_{2i}, 0) \quad (12)$$

$$\varepsilon_{1i}^- = \min(\varepsilon_{1i}, 0), \varepsilon_{2i}^- = \min(\varepsilon_{2i}, 0) \quad (13)$$

$$\varepsilon_{1i} = \varepsilon_{1i}^+ + \varepsilon_{1i}^- \quad (14)$$

$$\varepsilon_{2i} = \varepsilon_{2i}^+ + \varepsilon_{2i}^- \quad (15)$$

Burada pozitif ve negatif şoklar eklendiğinde elde edilen sonuç aşağıdaki formda tanımlanmaktadır;

$$y_{1t} = y_{1t-1} + \varepsilon_{1t} = y_{1,0} + \sum_{i=1}^t \varepsilon_{1i}^+ + \sum_{i=1}^t \varepsilon_{1i}^- \quad (16)$$

$$y_{2t} = y_{2t-1} + \varepsilon_{2t} = y_{2,0} + \sum_{i=1}^t \varepsilon_{2i}^+ + \sum_{i=1}^t \varepsilon_{2i}^- \quad (17)$$

Pozitif ve negatif şokların kümülatif biçimde gösterimi ise şu şekilde yapılmaktadır:

$$y_{1t}^+ = \sum_{i=1}^t \varepsilon_{1i}^+, \quad y_{1t}^- = \sum_{i=1}^t \varepsilon_{1i}^- \quad (18)$$

$$y_{2t}^+ = \sum_{i=2}^t \varepsilon_{2i}^+, \quad y_{2t}^- = \sum_{i=1}^t \varepsilon_{2i}^- \quad (19)$$

4. Veri ve Ampirik Bulgular

4.1. Veri

Çalışmada küresel ölçekli belirsizliklerin BIST ulaştırma endeksi ve endekste yer alan şirketler üzerine simetrik ve asimetrik etkisinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Tablo 1’de BIST Ulaştırma endeksinde yer alan şirketlerin BIST kodu, şirket unvanı, kuruluş yılı, borsada ilk işlem tarihi ve faaliyet konusu ile ilgili bilgilere yer verilmiştir. BIST Ulaştırma endeksinde 10 şirket yer almakta olup, bu şirketlerden 4 tanesinin (GRSEL, PASEU, TLMAN ve TUREX) ilk işleme başladığı tarih incelenecek dönem aralığında bulunduğu için veri setine dahil edilmemiştir.

Tablo 1. BIST Ulaştırma Endeksinde Yer Alan Şirketler

BIST Kodu	Şirket Unvanı	Kuruluş Yılı	İlk İşlem Tarihi	Faaliyet Konusu
BEYAZ	Beyaz Filo Oto Kiralama A.Ş.	1993	28.03.2012	Motorlu araçların sıfır km. ve ikinci el ticareti, satış sonrası servis hizmetleri
CLEBI	Çelebi Hava Servisi A.Ş.	1995	18.11.1996	Havaalanı yer hizmetleri
GSDDE	GSD Denizcilik Gayrimenkul İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş.	1992	20.02.1995	Ulusal ve uluslararası denizlerde taşımacılık ve armatörlük
GRSEL	Gür-Sel Turizm Taşımacılık ve Servis Ticaret A.Ş.	1993	09.03.2022	Karayolu taşımacılığı
PASEU	Pasifik Eurasia Lojistik Dış Ticaret A.Ş.	2019	14.06.2023	Yurt içi ve yurt dışı her türlü denizyolu, karayolu, havayolu ve gemi taşımacılığı
PGSUS	Pegasus Hava Taşımacılığı A.Ş.	1990	26.04.2013	Havayolu taşımacılığı
RYSAS	Reysaş Taşımacılık ve Lojistik Ticaret A.Ş.	1989	10.02.2006	Taşımacılık ve lojistik faaliyetleri
TLMAN	Trabzon Liman İşletmeciliği A.Ş.	2003	24.01.2018	Liman işletmeciliği
TUREX	Tureks Turizm Taşımacılık A.Ş.	2002	08.04.2021	Personel taşımacılığı, bireysel ve filo araç kiralama, iş makinası kiralama
THYAO	Türk Hava Yolları A.O.	1933	20.12.1990	Ulaştırma, haberleşme ve depolama, hava taşımacılığı

Kaynak: www.kap.org.tr/tr/Endeksler (Erişim tarihi: 02.08.2023)

Çalışmada küresel ekonomik politika belirsizliğini temsilen Davis (2016) tarafından geliştirilen GSYH ağırlıklı GEPÜ endeksi kullanılmıştır. Kullanılan bir diğer belirsizlik endeksi ise, Caldara ve Iacoviello (2022)’nin literatüre kazandırdığı GPR endeksidir. GEPÜ endeks verileri aylık frekansta yayımlandığı için tüm değişkenlerin Mayıs 2013 ile Eylül 2023 tarihleri arası aylık verileri kullanılmıştır. Tüm veriler logaritmik dönüşüme tabi tutularak analiz gerçekleştirilmiştir. Değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Değişkenlere Ait Tanımlayıcı İstatistikler

	GPR	GEPÜ	XULAS	BEYAZ	CLEBI	GSDDE	PGSUS	RYSAS	THYAO
Ortalama	1,991670	2,270860	3,192450	0,520975	1,696322	0,051552	1,663416	0,095818	1,151955
Medyan	1,985138	2,292523	3,124397	0,517987	1,508260	-0,136677	1,510545	-0,265200	1,065953
Std, Sapma	2,512622	2,629600	4,439725	1,770918	2,973128	0,997823	2,941958	1,612572	2,389166
Min,	1,782484	1,938007	2,710498	-0,405607	0,791691	-0,503070	1,065953	-0,474955	0,682145
Maks,	0,111472	0,166385	0,418326	0,557797	0,565328	0,415073	0,447763	0,614953	0,411131
Çarpıklık	1,115370	-0,133274	1,502579	-0,070466	0,546426	0,825368	1,213836	0,869929	1,595603
Basıklık	6,164354	1,943749	4,552927	2,073409	2,238316	2,325898	3,867694	2,374564	4,771915
Jarque-Bera	6,180800	78,06949	59,59666	4,575170	9,242118	16,55909	34,61711	17,80354	69,39315
Olaslık	0,00000	0,04548	0,00000	0,10151	0,00984	0,00025	0,00000	0,00013	0,00000
Gözlem	125	125	125	125	125	125	125	125	125

Tablo 2’de verilen tanımlayıcı istatistiklere göre en yüksek ortalama ve volatiliteye sahip değişkenin ulaştırma endeksi, en düşük ortalama ve volatiliteye sahip değişkenin ise GSDDE olduğu görölmektedir. Çarpıklık katsayılarına bakıldığında GEPÜ ve BEYAZ hisse senedi hariç diğer değişkenlerin sağa çarpık olduğunu, basıklık değerlerinden ise normal dağılıma göre dik olduğunu söylemek mümkündür. Jarque-Bera test istatistiği ise değişkenlerin normal dağılmadığını ortaya koymaktadır. Tablo 3’te değişkenlere ait korelasyon matrisine yer verilmiştir.

Tablo 3. Değişkenlere Ait Korelasyon Matrisi

	GPR	GEPÜ	XULAS	BEYAZ	CLEBI	GSDDE	PGSUS	RYSAS	THYAO
GPR	1,000								
GEPÜ	0,019	1,000							
XULAS	0,274	0,506	1,000						
BEYAZ	0,100	0,622	0,698	1,000					
CLEBI	0,210	0,696	0,899	0,739	1,000				
GSDDE	0,213	0,585	0,876	0,670	0,936	1,000			
PGSUS	0,191	0,494	0,954	0,610	0,896	0,915	1,000		
RYSAS	0,143	0,620	0,870	0,693	0,913	0,970	0,914	1,000	
THYAO	0,300	0,466	0,995	0,675	0,862	0,836	0,930	0,829	1,000

Korelasyon matrisi sonuçlarına göre değişkenler arasında pozitif korelasyon ilişkisi mevcuttur. RYSAS ile GSDDE, GSDDE ile CLEBI ve THYAO ile PGSUS arasında çok güçlü ve pozitif korelasyon ilişkisi olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte pozitif yönlü en düşük korelasyon ilişkisi ise GEPÜ ile GPR değişkenleri arasında bulunmaktadır.

4.2. Ampirik Bulgular

Analizde; uygun gecikme sayısı (p) VAR modeli yardımıyla, maksimum bütünleşme derecesi (d) ise değişkenlerin durağanlık seviyelerine göre belirlenmektedir. Değişkenlerin durağanlık seviyelerinin belirlenmesi model seçimi için gereklidir. Bu nedenle öncelikle değişkenlere ait durağanlık testi ADF birim kök testi ile yapılarak Tablo 4.’te sunulmuştur.

Tablo 4. Değişkenlere Ait ADF Birim Kök Testi Sonuçları

	DÜZEY		1. FARK	
	Sabitli	Sabitli / Trendli	Sabitli	Sabitli / Trendli
GPR	-4.9192***	-4.9534***	-14.1882***	-14.1323***
GEPÜ	-2.1646	-4.7280***	-9.5546***	-9.5368***
XULAS	2.3589	0.1751	-10.6514***	-11.2825***
BEYAZ	-1.2242	-2.8412	-9.1592***	-9.1341***
CLEBI	0.7265	-2.0120	-12.0594***	-12.1776***
GSDDE	0.4848	-1.6244	-9.2300***	-9.4058***
PGSUS	1.4125	-0.4616	-11.0985***	-11.5282***
RYSAS	1.2835	-1.1638	-9.0139***	-9.2080***
THYAO	2.2249	0.1651	-10.7610***	-11.3943***

***, ** ve * sembolleri sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık seviyesinde durağanlığı ifade etmektedir.

Tablo 4'te görüldüğü üzere logaritmik dönüşümü yapılan serilerden sadece GPR ve GEPU endekslerinin sabitte ve trendde durağan olduğu, diğer değişkenlerin durağan olmadığı belirlenmiştir. Değişkenlere ait logaritmik serilerin birinci farkları alındığında ise tüm serilerin hem sabitte hem de sabitte ve trendde durağan olduğu saptanmıştır. Ayrıca, iki yapısal kırılmaya izin veren Lee-Strazicich (2003) iki kırılmalı birim kök testi hem sabitte hem de trendde uygulanarak elde edilen bulgular Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Lee-Strazicich (2003) İki Kırılmalı Birim Kök Testi Sonuçları

	Düzye				1. Fark			
	Kırılma Tarihleri	Test İstatistiği	Kritik Değerler %1	%5	Kırılma Tarihleri	Test İstatistiği	Kritik Değerler %1	%5
GPR	Mart 2020 Ocak 2022	-7,4470***	-6,1043	-5,4455	Nisan 2021 Mart 2022	-13,9038***	-5,7825	-5,2763
GEPU	Kasım 2020 Mart 2022	-6,3325***	-5,7825	-5,2763	Şubat 2020 Mart 2022	-13,9013***	-6,1043	-5,4455
XULAS	Ağustos 2017 Eylül 2020	-4,2190	-6,0668	-5,5135	Ağustos 2017 Ocak 2020	-10,9783***	-6,1394	-5,5866
BEYAZ	Nisan 2015 Ağustos 2018	-4,6324	-5,9824	-5,4809	Şubat 2018 Ocak 2019	-10,6361***	-6,0661	-5,3711
CLEBI	Nisan 2016 Haziran 2022	-5,3455**	-5,8937	-5,3408	Şubat 2021 Ocak 2022	-7,8331***	-5,7825	-5,2763
GSDDE	Temmuz 2015 Eylül 2019	-5,5446**	-6,1643	-5,5391	Haziran 2015 Temmuz 2017	-9,6265***	-6,1043	-5,4455
PGSUS	Şubat 2016 Haziran 2022	-5,3406	-5,8937	-5,3408	Ocak 2018 Aralık 2019	-12,5826***	-6,1394	-5,5866
RYSAS	Ekim 2019 Ağustos 2021	-5,4404	-6,1043	-5,4455	Şubat 2019 Şubat 2020	-9,8479***	-6,0661	-5,3711
THYAO	Ağustos 2017 Eylül 2020	-4,4023	-6,0668	-5,5135	Nisan 2015 Eylül 2018	-10,8026***	-5,9824	-5,4809

*** ve ** sembolleri sırasıyla %1 ve %5 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Lee-Strazicich (2003) iki yapısal kırılmalı birim kök testinde değişkende birim kök olduğunu ifade eden H₀ hipotezi sınamakta olup, elde edilen test istatistiği kritik değerlere göre yorumlanarak karar verilmektedir. Tablo 5'te de görüldüğü üzere GPR, GEPU, CLEBI ve GSDDE değişkenlerinin test istatistiği %5 anlamlılık düzeyinde kritik değerlerden mutlak değerce büyük olduğu için H₀ hipotezi reddedilmiştir. Bu sonuç, değişkenlerin düzey değerlerinin iki yapısal kırılma için hem sabitte hem de trendde durağan olduğunu ortaya çıkarmıştır. Değişkenlerin birinci farkları alındığında ise incelenen tüm değişkenlerin %1 anlamlılık düzeyinde iki yapısal kırılma için hem sabitte hem de trendde durağan olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Değişkenlerin maksimum bütünleşme dereceleri belirlendikten sonra simetrik nedensellik ilişkisinin tespiti için Hacker ve Hatemi-J (2006) Bootstrap nedensellik testi yapılarak elde edilen bulgular Tablo 6'da ortaya konulmuştur. Burada değişkenler arasında ikili ilişkiler incelenerek, "Birinci değişken ikinci değişkenin Granger nedeni değildir," şeklinde oluşturulan boş hipotez test edilmekte, MWALD test istatistiğinin bootstrap kritik değerlerden büyük olması halinde boş hipotez red edilmektedir.

Tablo 6. Hacker ve Hatemi-J (2006) Bootstrap Nedensellik Testi Sonuçları

Nedenselliğin Yönü	MWALD Test İstatistiği	Bootstrap Kritik Değerler			Nedenselliğin Yönü	MWALD Test İstatistiği	Bootstrap Kritik Değerler		
		%1	%5	%10			%1	%5	%10
GPR → XULAS	3.901**	6.699	3.893	2.757	XULAS → GPR	4.857**	6.949	3.908	2.716
GPR → BEYAZ	0.059	6.840	3.944	2.753	BEYAZ → GPR	0.516	6.769	4.048	2.806
GPR → CLEBI	5.431**	7.048	4.038	2.773	CLEBI → GPR	1.782	6.871	3.974	2.810
GPR → GSDDE	3.140*	6.749	3.966	2.808	GSDDE → GPR	3.051*	6.913	4.021	2.773
GPR → PGSUS	2.987*	6.967	3.963	2.746	PGSUS → GPR	2.796*	6.848	3.940	2.690
GPR → RYSAS	1.816	6.759	3.941	2.788	RYSAS → GPR	0.661	7.069	4.025	2.742
GPR → THYAO	2.260	7.118	3.996	2.812	THYAO → GPR	1.558	6.667	3.865	2.726
GEPU → XULAS	9.278***	7.127	3.878	2.710	XULAS → GEPU	8.056***	7.617	4.048	2.807
GEPU → BEYAZ	0.631	6.698	3.973	2.719	BEYAZ → GEPU	1.385	6.935	3.958	2.757
GEPU → CLEBI	0.521	6.687	3.869	2.678	CLEBI → GEPU	3.861**	6.755	3.766	2.656
GEPU → GSDDE	1.770	7.740	3.674	2.494	GSDDE → GEPU	2.271	8.151	3.647	2.505
GEPU → PGSUS	5.482**	7.177	3.802	2.618	PGSUS → GEPU	3.425*	7.318	3.923	2.681
GEPU → RYSAS	2.075	7.628	3.718	2.557	RYSAS → GEPU	3.646*	8.028	3.786	2.542
GEPU → THYAO	2.570	6.968	3.778	2.710	THYAO → GEPU	1.938	6.907	3.960	2.769

***, ** ve * işaretleri sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık seviyesini ifade etmektedir.

Nedenselliğin istatistiki olarak anlamlı olup olmadığının tespiti için elde edilen test istatistiği, bootstrap kritik değerleri ile karşılaştırılarak karar verilmektedir. Tablo 6'da görüldüğü üzere GPR endeksi ile GSDDE ve PGSUS şirketleri arasında karşılıklı nedensellik ilişkisi olduğu, jeopolitik risklerin CLEBI hisse senedi fiyatındaki değişimin nedeni olduğu sonucuna varılmıştır. Araştırmanın diğer bir bulgusu da küresel ekonomik politika belirsizliğinin PGSUS hisse senedi fiyatlarının nedeni olduğudur. Bununla birlikte GPR endeksi ile XULAS endeksi arasında %5, GEPU endeksi ile XULAS endeksi arasında ise %1 anlamlılık düzeyinde karşılıklı nedensellik ilişkisi olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç, küresel ekonomik politika belirsizliğinin ve jeopolitik risklerin BIST Ulaştırma endeksi üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu ortaya koymaktadır. Hacker ve Hatemi-J (2006) Bootstrap nedensellik testi sadece değişkenler arasındaki simetrik nedensellik ilişkisi hakkında bilgi vermektedir. Negatif ve pozitif şokların değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisi üzerine etkisinin belirlenmesi amacıyla Hatemi-J (2012) asimetrik nedensellik testi yapılarak elde edilen sonuçlar Tablo 7 ve Tablo 8'de gösterilmiştir. Bu yöntemde ise her bir ikili değişken grubu için sırasıyla aşağıda belirtilen boş hipotezler test edilmekte, MWALD test istatistiği bootstrap kritik değerler ile karşılaştırılarak değerlendirme yapılmaktadır.

1. H_0 : Birinci değişkenin pozitif şokundan ikinci değişkenin pozitif şokuna doğru nedensellik yoktur.
2. H_0 : Birinci değişkenin pozitif şokundan ikinci değişkenin negatif şokuna doğru nedensellik yoktur.
3. H_0 : Birinci değişkenin negatif şokundan ikinci değişkenin negatif şokuna doğru nedensellik yoktur.
4. H_0 : Birinci değişkenin negatif şokundan ikinci değişkenin pozitif şokuna doğru nedensellik yoktur.

Tablo 7. GPR ile Ulaştırma Sektörü Arasındaki Hatemi-J (2012) Asimetrik Nedensellik Testi Sonuçları

Nedenselliğin Yönü	MWALD Test İstatistiği	Bootstrap Kritik Değerler			Nedenselliğin Yönü	MWALD Test İstatistiği	Bootstrap Kritik Değerler		
		%1	%5	%10			%1	%5	%10
GPR ⁺ → XULAS ⁺	1.413	7.341	4.091	2.952	XULAS ⁺ → GPR ⁺	22.872***	7.936	4.225	3.013
GPR ⁺ → XULAS ⁻	28.762***	7.422	4.204	2.896	XULAS ⁺ → GPR ⁻	0.291	7.369	4.012	2.812
GPR ⁻ → XULAS ⁻	1.361	6.836	3.983	2.832	XULAS ⁻ → GPR ⁻	24.975***	7.630	4.394	3.066
GPR ⁻ → XULAS ⁺	0.033	7.421	4.000	2.788	XULAS ⁻ → GPR ⁺	27.756***	7.269	4.088	2.852
GPR ⁺ → BEYAZ ⁺	10.789***	7.376	4.206	2.942	BEYAZ ⁺ → GPR ⁺	14.725***	7.540	4.186	2.890
GPR ⁺ → BEYAZ ⁻	4.547**	7.256	4.234	2.899	BEYAZ ⁺ → GPR ⁻	0.748	7.266	4.013	2.773
GPR ⁻ → BEYAZ ⁻	11.421***	7.303	4.129	2.861	BEYAZ ⁻ → GPR ⁻	14.780***	7.255	4.134	2.918
GPR ⁻ → BEYAZ ⁺	0.049	7.238	4.077	2.786	BEYAZ ⁻ → GPR ⁺	10.597***	7.190	4.071	2.892
GPR ⁺ → CLEBI ⁺	3.072*	7.314	4.213	2.937	CLEBI ⁺ → GPR ⁺	10.497***	7.323	4.101	2.890
GPR ⁺ → CLEBI ⁻	14.694***	7.589	4.156	2.849	CLEBI ⁺ → GPR ⁻	10.831***	7.455	4.228	2.923
GPR ⁻ → CLEBI ⁻	8.237***	7.698	4.139	2.851	CLEBI ⁻ → GPR ⁻	8.204***	7.583	4.222	2.897
GPR ⁻ → CLEBI ⁺	4.969**	6.998	3.955	2.757	CLEBI ⁻ → GPR ⁺	13.694***	7.349	4.244	2.945
GPR ⁺ → GSDDE ⁺	1.286	7.465	4.230	2.983	GSDDE ⁺ → GPR ⁺	13.030***	7.375	4.185	2.914
GPR ⁺ → GSDDE ⁻	25.934***	7.331	4.064	2.862	GSDDE ⁺ → GPR ⁻	11.603***	7.161	4.110	2.896
GPR ⁻ → GSDDE ⁻	1.873	7.291	4.115	2.896	GSDDE ⁻ → GPR ⁻	12.975***	7.495	4.301	2.928
GPR ⁻ → GSDDE ⁺	14.388***	7.084	3.900	2.750	GSDDE ⁻ → GPR ⁺	24.411***	7.546	4.201	2.929
GPR ⁺ → PGSUS ⁺	3.005*	7.369	4.130	2.939	PGSUS ⁺ → GPR ⁺	21.996***	7.506	4.265	2.992
GPR ⁺ → PGSUS ⁻	23.507***	7.279	4.156	2.933	PGSUS ⁺ → GPR ⁻	0.757	7.331	4.049	2.814
GPR ⁻ → PGSUS ⁻	3.482*	6.974	3.957	2.816	PGSUS ⁻ → GPR ⁻	21.395***	7.722	4.370	3.019
GPR ⁻ → PGSUS ⁺	0.290	7.186	4.044	2.733	PGSUS ⁻ → GPR ⁺	25.241***	7.319	4.137	2.872
GPR ⁺ → RYSAS ⁺	0.274	7.456	4.209	2.931	RYSAS ⁺ → GPR ⁺	21.675***	7.583	4.408	3.103
GPR ⁺ → RYSAS ⁻	41.907***	7.391	4.171	2.877	RYSAS ⁺ → GPR ⁻	7.047**	7.351	4.098	2.829
GPR ⁻ → RYSAS ⁻	0.199	7.043	3.999	2.825	RYSAS ⁻ → GPR ⁻	22.990***	7.914	4.557	3.231
GPR ⁻ → RYSAS ⁺	6.923**	7.453	4.033	2.752	RYSAS ⁻ → GPR ⁺	34.697***	7.110	4.138	2.825
GPR ⁺ → THYAO ⁺	1.534	7.311	4.071	2.940	THYAO ⁺ → GPR ⁺	22.803***	8.000	4.224	3.019
GPR ⁺ → THYAO ⁻	28.367***	7.391	4.182	2.897	THYAO ⁺ → GPR ⁻	0.313	7.309	4.018	2.813
GPR ⁻ → THYAO ⁻	1.430	6.884	3.984	2.836	THYAO ⁻ → GPR ⁻	25.047***	7.655	4.395	3.053
GPR ⁻ → THYAO ⁺	0.021	7.377	4.023	2.800	THYAO ⁻ → GPR ⁺	27.285***	7.196	4.102	2.862

***, ** ve * işaretleri sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık seviyesini ifade etmektedir.

Tablo 7'de gösterilen Hatemi-J (2012) asimetrik nedensellik testi sonuçlarına göre; jeopolitik risk endeksinde meydana gelen pozitif bir şoktan BEYAZ, CLEBI ve PGSUS hisse senetlerinde meydana gelen pozitif şoklara doğru nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. GPR'de ortaya çıkan pozitif şokların ise XULAS endeksi ve ulaştırma endeksinde yer alan şirketlerin hisse senetlerindeki negatif şokların nedeni olduğu görülmektedir. Bu sonuç jeopolitik risk endeksindeki artışın ulaştırma sektöründe faaliyet gösteren şirketleri negatif yönde etkilediğini göstermektedir. GPR endeksindeki negatif şoklardan ise BEYAZ, CLEBI ve PGSUS hisse senetlerindeki negatif şoklara doğru nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. Ayrıca, GPR endeksindeki negatif şokların CLEBI, GSDDE ve RYSAS hisse senetlerindeki pozitif şokların nedeni olduğu belirlenmiştir. Ulaştırma endeksi ve endekste yer alan şirketlerin negatif şoklarından GPR'nin hem negatif hem de pozitif şoklarına doğru nedensellik ilişkisi olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, ulaştırma endeksi ve endekste yer alan şirketlerin pozitif şoklarından GPR'nin pozitif şoklarına doğru nedensellik ilişkisinin olduğuna dair bulgulara da ulaşılmıştır.

Tablo 8. GEPU ile Ulaştırma Sektörü Arasındaki Hatemi-J (2012) Asimetrik Nedensellik Testi Sonuçları

Nedenselliğin Yönü	Test İstatistiği	Bootstrap Değerler			Kritik %10	Nedenselliğin Yönü	Test İstatistiği	Bootstrap Değerler			Kritik %10
		%1	%5	%10				%1	%5	%10	
GEPU ⁺ → XULAS ⁺	3.365	6.769	4.018	2.860	XULAS ⁺ → GEPU ⁺	8.762***	6.891	4.085	2.887		
GEPU ⁺ → XULAS ⁻	8.771***	6.506	3.994	2.899	XULAS ⁺ → GEPU ⁻	2.515	6.322	3.902	2.766		
GEPU ⁻ → XULAS ⁻	3.557*	6.545	4.034	2.892	XULAS ⁻ → GEPU ⁻	9.787***	6.668	4.047	2.953		
GEPU ⁻ → XULAS ⁺	5.198**	6.762	4.001	2.861	XULAS ⁻ → GEPU ⁺	7.878***	6.739	4.059	2.893		
GEPU ⁺ → BEYAZ ⁺	0.153	7.261	4.034	2.855	BEYAZ ⁺ → GEPU ⁺	6.199**	7.240	4.053	2.872		
GEPU ⁺ → BEYAZ ⁻	9.969***	6.926	4.113	2.835	BEYAZ ⁺ → GEPU ⁻	3.551*	7.104	3.965	2.776		
GEPU ⁻ → BEYAZ ⁻	0.077	7.291	4.002	2.893	BEYAZ ⁻ → GEPU ⁻	6.468**	6.954	4.044	2.855		
GEPU ⁻ → BEYAZ ⁺	2.642	6.962	4.110	2.903	BEYAZ ⁻ → GEPU ⁺	13.270***	6.985	3.978	2.819		
GEPU ⁺ → CLEBI ⁺	4.577**	6.963	3.997	2.843	CLEBI ⁺ → GEPU ⁺	6.854**	7.783	4.204	2.984		
GEPU ⁺ → CLEBI ⁻	3.733*	7.722	4.017	2.808	CLEBI ⁺ → GEPU ⁻	0.064	7.238	4.016	2.756		
GEPU ⁻ → CLEBI ⁻	4.389**	7.616	4.068	2.832	CLEBI ⁻ → GEPU ⁻	6.667**	7.884	4.281	2.931		
GEPU ⁻ → CLEBI ⁺	0.000	7.026	4.082	2.845	CLEBI ⁻ → GEPU ⁺	1.029	7.883	4.070	2.883		
GEPU ⁺ → GSDDE ⁺	4.938**	7.190	3.885	2.792	GSDDE ⁺ → GEPU ⁺	7.931**	7.969	4.287	2.937		
GEPU ⁺ → GSDDE ⁻	4.972**	7.346	4.201	2.871	GSDDE ⁺ → GEPU ⁻	0.534	6.735	3.912	2.742		
GEPU ⁻ → GSDDE ⁻	4.478**	7.207	4.020	2.858	GSDDE ⁻ → GEPU ⁻	8.111***	7.351	4.229	2.948		
GEPU ⁻ → GSDDE ⁺	0.649	6.832	4.017	2.812	GSDDE ⁻ → GEPU ⁺	3.117	7.587	4.158	2.805		
GEPU ⁺ → PGSUS ⁺	0.031	6.675	4.064	2.839	PGSUS ⁺ → GEPU ⁺	8.773***	7.059	4.096	2.864		
GEPU ⁺ → PGSUS ⁻	12.212***	6.755	3.924	2.821	PGSUS ⁺ → GEPU ⁻	1.782	6.402	3.840	2.763		
GEPU ⁻ → PGSUS ⁻	0.147	6.704	4.043	2.900	PGSUS ⁻ → GEPU ⁻	9.321***	6.955	4.106	2.899		
GEPU ⁻ → PGSUS ⁺	1.129	6.725	4.057	2.922	PGSUS ⁻ → GEPU ⁺	10.041	6.607	3.952	2.813		
GEPU ⁺ → RYSAS ⁺	2.262	6.619	4.001	2.841	RYSAS ⁺ → GEPU ⁺	9.080***	7.236	4.105	2.969		
GEPU ⁺ → RYSAS ⁻	8.849***	6.747	4.028	2.848	RYSAS ⁺ → GEPU ⁻	0.681	6.368	3.836	2.778		
GEPU ⁻ → RYSAS ⁻	2.032	6.755	3.998	2.902	RYSAS ⁻ → GEPU ⁻	10.049***	6.929	4.078	2.902		
GEPU ⁻ → RYSAS ⁺	0.430	6.858	4.037	2.841	RYSAS ⁻ → GEPU ⁺	8.051***	6.853	3.971	2.882		
GEPU ⁺ → THYAO ⁺	4.968**	6.748	4.023	2.866	THYAO ⁺ → GEPU ⁺	8.721***	6.825	4.060	2.895		
GEPU ⁺ → THYAO ⁻	8.273***	6.495	3.988	2.893	THYAO ⁺ → GEPU ⁻	3.827*	6.320	3.886	2.767		
GEPU ⁻ → THYAO ⁻	5.506**	6.582	4.019	2.876	THYAO ⁻ → GEPU ⁻	9.758***	6.662	4.067	2.946		
GEPU ⁻ → THYAO ⁺	6.792	6.744	4.010	2.864	THYAO ⁻ → GEPU ⁺	7.608***	6.788	4.054	2.889		

***, ** ve * işaretleri sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık seviyesini ifade etmektedir.

Tablo 8’de GEPU endeksi ile XULAS endeksi ve bu endekste yer alan şirketler arasındaki nedensellik ilişkisi ile ilgili bulgular yer almaktadır. Araştırma sonucunda GEPU endeksi ile CLEBI, GSDDE ve THYAO hisse senetlerinin pozitif şokları arasında karşılıklı; BEYAZ, PGSUS, RYSAS hisse senetlerindeki pozitif şoklardan da GEPU endeksindeki pozitif şoklara doğru bir nedensellik ilişkisi olduğu tespit edilmiştir. Küresel ekonomik politika belirsizliği endeksindeki artışların XULAS endeksi ve endekste yer alan şirketlerin hisse senetlerindeki negatif şokların nedeni olduğu belirlenmiştir. Bu durum ulaştırma endeksinin belirsizlik ile ilgili risklerin artmasından negatif yönde etkilendiğini ortaya çıkarmıştır. Bununla birlikte, sadece BEYAZ ve THYAO hisse senetlerindeki pozitif şoklardan GEPU’daki negatif şoklara doğru %10 anlamlılık düzeyinde nedensellik ilişkisi olduğu görülmektedir. GEPU endeksindeki negatif şoklar ile CLEBI, GSDDE, THYAO hisse senetleri ve XULAS endeksinin negatif şoklarının birbirlerinin nedeni olduğu belirlenirken; BEYAZ, PGSUS ve RYSAS hisse senetlerinin negatif şoklarından GEPU endeksinin negatif şoklarına doğru nedensellik ilişkisi olduğu bulunmuştur. GEPU endeksindeki negatif şoklardan XULAS endeksindeki pozitif şoklara, XULAS endeksindeki negatif şoklardan da GEPU endeksindeki pozitif şoklara doğru nedensellik ilişkisinin varlığına dair bulgular elde edilmiştir. BEYAZ, RYSAS ve GEPU hisse senetlerindeki negatif şoklardan GEPU endeksindeki pozitif şoklara doğru bir nedensellik olduğu ortaya çıkmıştır. Hatemi-J asimetrik nedensellik testi sonuçları, belirsizliklerin arttığı bir ortamda hem GPR hem de GEPU endeksindeki pozitif şokların XULAS endeksinde negatif şokların nedeni olduğunu göstermiştir. Bu nedenle ulaştırma endeksinde yer alan bir şirketin hisse senedine yatırım yapılması halinde belirsizlik endekslerinin izlenmesi, portföy riskinin yönetilmesi açısından gereklidir.

5. Sonuç

Finansal varlıklar ve finansal piyasalar farklı faktörlerin etkisi altındadır. Özellikle, son yıllarda yaşanan COVID-19 pandemisi ve Rusya-Ukrayna savaşı gibi olaylar küresel ekonomik faaliyetlerde yavaşlamaya ve finansal piyasalarda dalgalanmalara neden olmuştur. Karantina önlemleri kapsamında kapanmaların yaşandığı bu süreçte, sınırların kapatılması, mal ve hizmet üretiminin geçici süre ile durdurulmasına bağlı olarak tedarik zincirlerinin kesintiye uğraması, yolcu taşımacılığına ve toplu taşımalara getirilen kısıtlamalar nedeniyle pandemiden en fazla etkilenen sektörlerin başında ulaştırma ve lojistik sektörü gelmiştir. Yine Rusya-Ukrayna savaşına bağlı olarak, enerji fiyatlarındaki dalgalanma ekonomik ve ticari faaliyetleri etkilemiş, ülkelerarası ticaret akışlarında ve lojistik operasyonlarda aksamalar meydana gelmiştir. Yerel ve bölgesel ölçekte ortaya çıkan ekonomik, siyasi,

sosyal ve jeopolitik olaylar bulaşma etkisi nedeniyle diğer ÷lkelere de yayılarak farklı etkilere neden olmaktadır. Bu olayların neden olduğu belirsizlikler finansal piyasalar için önemli bir risk içermektedir. Bu faktörler yatırımcıların karar alma süreçlerini etkilediği için risk yönetimini daha karmaşık hale getirmektedir. Bu nedenle ortaya çıkan belirsizlikler karşısında piyasaların ve finansal varlıkların nasıl tepki verdiklerinin bilinmesi gerekmektedir. Yatırımcılar bu riskleri öngörebilmek için VIX, CDS primi, DXY gibi bazı belirsizlik endekslerini kullanmaktadır. Bu endekslerin dışında EPU, GEPU, GPR, GFSI gibi haber bazlı endeksler geliştirilerek finansal piyasaların gelecekteki durumu ile ilgili tahminlerde bulunulmaya çalışılmaktadır. Belirsizlik endekslerinin finansal piyasaların tahmin edilmesinde öncü olabileceği düşüncesi araştırmacıların ilgisini çeken bir konu haline gelmiştir. Bu çalışma, belirsizliklerin ulaştırma sektörü üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacına yoğunlaşmaktadır. Mayıs 2013 – Eylül 2023 tarihleri arası aylık verilerin kullanıldığı çalışmada, GPR ve GEPU endeksleri ile BIST ulaştırma endeksi ve ulaştırma endeksinde yer alan şirketler arasındaki nedensellik ilişkisi Hacker ve Hatemi-J Bootstrap (2006) nedensellik testi ve Hatemi-J (2012) asimetrik nedensellik testi ile araştırılmıştır.

Hacker ve Hatemi-J Bootstrap (2006) nedensellik testinden elde edilen bulgular hem GPR hem de GEPU endeksleri ile BIST ulaştırma endeksi arasında karşılıklı nedensellik ilişkisi olduğunu göstermiştir. GPR endeksi ile GSDDE ve PGSUS hisse senetleri arasında da karşılıklı nedensellik ilişkisine rastlanılmıştır. Bununla birlikte, GPR endeksindeki şokların CLEBI hisse senedindeki değişimlerin, CLEBI hisse senedindeki şokların ise GEPU'daki şokların nedeni olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar jeopolitik risklerin ve ekonomik politika belirsizliğinin ulaştırma sektörü üzerinde önemli bir etkisinin bulunduğu anlamına gelmektedir.

Asimetrik nedensellik testi sonuçları GPR ve GEPU endekslerindeki pozitif şokların BIST ulaştırma endeksi ve endekte yer alan hisse senetlerindeki negatif şokların nedeni olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu bulgu ile ulaştırma sektörüne yapılacak bir yatırımda GPR ve GEPU endekslerinin, tahminde öncül olarak kullanılabilirliğini söylemek mümkündür. Bununla birlikte GPR endeksinde ortaya çıkan negatif şoklardan BEYAZ, CLEBI VE PGSUS hisse senetlerindeki negatif şoklara; CLEBI, GSDDE VE RYSAS'ın ise pozitif şoklarına doğru nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. GEPU endeksinin pozitif şokları ile CLEBI, GSDDE ve THYAO'nun pozitif şokları arasında ve aynı zamanda bu değişkenlerin negatif şokları arasında da karşılıklı nedensellik ilişkisi olduğu gör÷lmüştür. Ayrıca, GEPU endeksindeki negatif şoklardan XULAS endeksindeki pozitif şoklara; XULAS endeksindeki negatif şoklardan da GEPU endeksine doğru nedensellik ilişkisi olduğu bulunmuştur. Kiracı (2020) belirsizlik endeksi olarak incelediği DXY'den BIST ulaştırma endeksine tek yönlü nedensellik ilişkisi tespit etmesine rağmen, çalışmada hem GPR ile XULAS hem de GEPU ile XULAS arasında karşılıklı nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. Sadeghzadeh Emsen ve Aksu (2020)'nin BIST100 ile EPU arasında nedenselliğin olmadığı yönündeki bulgusunun aksine ekonomik politika belirsizliğinin endeks üzerinde etkisinin olduğu gör÷lmüştür. Ayrıca, çalışmada elde edilen bulgular, Maquieira vd. (2023)'nin GEPU'da meydana gelen pozitif şokların hisse senetleri üzerinde negatif etkilerinin olduğu yönündeki bulguları da desteklemektedir. Han ve Li (2023)'nin de belirttiği gibi GEPU endeksinin dikkate alınması portföy yönetimi açısından faydalı olacaktır.

Finansal piyasalara yatırım yapan yatırımcıların takip etmesi gereken göstergelerden birisi de belirsizlik endeksleridir. Belirsizlik endekslerinde meydana gelen dalgalanmaların finansal piyasalar üzerindeki hem simetrik hem de asimetrik etkilerinin ne yönde olduğunun bilinmesi, risklerin yönetilmesi ve bu etkilere karşı yeni stratejilerin geliştirilmesi için gereklidir. Genel ekonomik faktörler ile jeopolitik risk ve belirsizliklerdeki değişimin dikkate alınması portföy yönetimi açısından kritik bir öneme sahiptir. Çalışmada küresel belirsizlik endeksleri kullanılmış olup; farklı küresel, kategorik veya yerel belirsizlik endekslerinin ya da farklı sektörlerin incelenmesi ile geliştirilecek yeni bir çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünölmektedir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazar çıkar çatışması beyan etmemişlerdir.

Finansal Destek: Yazar finansal destek beyan etmemişlerdir.

Peer Review: Externally peer-reviewed.

Conflict of Interest: Author declared no conflict of interest.

Financial Disclosure: Author declared no financial support.

Yazarların ORCID ID'leri / ORCID IDs of the authors

Ercüment Doğru 0000-0003-2650-9326

KAYNAKLAR / REFERENCES

- Abdioğlu, Z., & Değerimci, N. (2014). Petrol fiyatları-hisse senedi fiyatları ilişkisi: BİST sektörel analiz. *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(8). <https://doi.org/10.18025/kauibf.88612>
- Alıcı, A. (2020). Döviz kuru, faiz oranı ile BIST100 ve BIST ulaştırma endeksi arasındaki ilişkinin ampirik analizi. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 12(2), 1573–1584. <https://doi.org/10.20491/isarder.2020.930>

- Altay, E. (2015). Knight belirsizliği: Risk ve muğlaklığın Borsa İstanbul aşırı getiri oranları üzerindeki etkisi. *BDDK Bankacılık ve Finansal Piyasalar Dergisi*, 9(2), 45–72.
- Avcı, T. (2019). Ulaştırma endeksi ve dolar kuru üzerinden aylara ilişkin anomaliler. *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 54(3), 1414–1431. <https://doi.org/10.15659/3.sektor-sosyal-ekonomi.19.09.1190>
- Baker, S. R., Bloom, N., & Davis, S. J. (2016). Measuring economic policy uncertainty. *The Quarterly Journal of Economics*, 131(4), 1593–1636. <https://doi.org/10.1093/qje/qjw024>
- Bouri, E., Hammoud, R., & Kassm, C. A. (2023). The effect of oil implied volatility and geopolitical risk on GCC stock sectors under various market conditions. *Energy Economics*, 120, 106617. <https://doi.org/10.1016/J.ENERCO.2023.106617>
- Caldara, D., & Iacoviello, M. (2022). Measuring geopolitical risk. *American Economic Review*, 112(4), 1194–1225. <https://doi.org/10.1257/aer.20191823>
- Chen, J., Ma, F., Qiu, X., & Li, T. (2023). The role of categorical EPU indices in predicting stock-market returns. *International Review of Economics & Finance*, 87, 365–378. <https://doi.org/10.1016/J.IREF.2023.05.003>
- Çınarcıoğlu, E., & Avcı, T. (2020). THY hisse senedi değerinin yapay sınır ağları ile kestirimi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 34(1), 1–20. <https://doi.org/DOI: 10.16951/atauniiibd.530322>
- Dağlı, H. (2000). Hisse senedi piyasa endeksleri ve Türkiye. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 3(4), 189–206.
- Davis, S. J. (2016). *An index of global economic policy uncertainty* (NBER Working Paper Series No. 22740). Cambridge: www.PolicyUncertainty.com.
- Ertuğrul Ayrancı, A., & Arı, G. (2021). Covid-19 pandemisinin BIST sektör endeksleri ile ilişkisi: Bayer – Hanck (2013) eşbütünleşme analizi. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 13(4), 3770–3785. <https://doi.org/doi.org/10.20491/isarder.2021.1355>
- Eyceyurt Batır, T., & Salıhoğlu, E. (2021). COVID-19'un kısıtlamalardan etkilenen BIST sektör endeks getirileri üzerindeki etkisi "Seçilmiş sektörler üzerine bir uygulama. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, Ağustos 2021(Özel Sayı), 491–500. <https://doi.org/https://doi.org/10.25095/mufad.949590>
- Eyüboğlu, S., & Eyüboğlu, K. (2018). Borsa İstanbul sektör endeksleri ile döviz kurları arasındaki ilişkilerin incelenmesi: ARDL modeli. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11(1), 8–28. <https://doi.org/10.25287/OHUIIBF.332352>
- Foglia, M., Palomba, G., & Tedeschi, M. (2023). Disentangling the geopolitical risk and its effects on commodities. Evidence from a panel of G8 countries. *Resources Policy*, 85, 104056. <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2023.104056>
- Gong, Y., He, Z., & Xue, W. (2022). EPU spillovers and stock return predictability: A cross-country study. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 78, 101556. <https://doi.org/10.1016/J.INTFIN.2022.101556>
- Gu, X., Zhu, Z., & Yu, M. (2021). The macro effects of GPR and EPU indexes over the global oil market—Are the two types of uncertainty shock alike? *Energy Economics*, 100, 105394. <https://doi.org/10.1016/J.ENERCO.2021.105394>
- Gümüş, A., & Hacıevliyagil, N. (2020). COVID-19 salgını hastalığının borsaya etkisi: Turizm ve ulaştırma endeksleri üzerine bir uygulama. *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, 11(1), 76–98. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ayd>
- Güneş, H., & Kaya, M. (2022). BİST endeksleri ile brent petrol fiyatları arasındaki ilişkinin analizi. *Uluslararası Finansal Ekonomi ve Bankacılık Uygulamaları Dergisi*, 3(2), 71–95. <https://doi.org/10.57085/ufebud.1209114>
- Güngör, S., Aydın, N., & İnak, A. (2021). COVID-19 salgınının turizm, ulaştırma ve yiyecek&içecek sektörlerine etkisi: RALS Engle ve Granger eşbütünleşme testi. *Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, Yaz Sayısı, 95–107. <https://doi.org/10.48145/gopsbad.882760>
- Guo, Y., Deng, Y., & Zhang, H. (2023). How do composite and categorical economic policy uncertainties affect the long-term correlation between China's stock and conventional/green bond markets? *Finance Research Letters*, 57, 104148. <https://doi.org/10.1016/J.FRL.2023.104148>
- Hacker, R. S., & Hatemi-J, A. (2006). Tests for causality between integrated variables using asymptotic and bootstrap distributions: Theory and application. *Applied Economics*, 38, 1489–1500. <https://doi.org/10.1080/00036840500405763>
- Han, Y., & Li, J. (2023). The impact of global economic policy uncertainty on portfolio optimization: A Black–Litterman approach. *International Review of Financial Analysis*, 86, 102476. <https://doi.org/10.1016/J.IRFA.2022.102476>
- Hatemi-J, A. (2012). Asymmetric causality tests with an application. *Empir Econ*, 43, 447–456. <https://doi.org/10.1007/s00181-011-0484-x>
- İltaş, Y., & Güzel, F. (2021). Borsa endeksi ve belirsizlik göstergeleri arasındaki nedensellik ilişkisi: Türkiye örneği. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 39(3), 411–424. <https://doi.org/10.17065/huniibf.821072>
- Kendirli, S., & Çankaya, M. (2016). Ham petrol fiyatlarının BIST 100 ve BIST ulaştırma endeksleri ile ilişkisi. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 12, 136–141. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iibfdkastamonu/issue/29623/318074>
- Kıracı, K. (2020). BİST ulaştırma endeksi ile dolar endeksi ve petrol fiyatları arasındaki ilişkinin ampirik olarak analizi. *Finansal Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, 12(22), 180–189. <https://doi.org/10.14784/marufacd.688344>
- Kuzu, S. (2017). Petrol fiyatları ve bazı makro ekonomik değişkenlerin Borsa İstanbul'da yer alan bir takım endeksler üzerindeki etkisinin araştırılması. *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 24(2), 579–599. <https://doi.org/10.18657/yonveek.299334>
- Li, T., Ma, F., Zhang, X., & Zhang, Y. (2020). Economic policy uncertainty and the Chinese stock market volatility: Novel evidence. *Economic Modelling*, 87, 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2019.07.002>
- Liang, C., Luo, Q., Li, Y., & Huynh, L. D. T. (2023). Global financial stress index and long-term volatility forecast for international stock markets. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 88, 101825. <https://doi.org/10.1016/J.INTFIN.2023.101825>
- Lu, X., & Lang, Q. (2023). Categorical economic policy uncertainty indices or Twitter-based uncertainty indices? Evidence from Chinese stock market. *Finance Research Letters*, 55, 103936. <https://doi.org/10.1016/J.FRL.2023.103936>
- Lyu, Y., Tuo, S., Wei, Y., & Yang, M. (2021). Time-varying effects of global economic policy uncertainty shocks on crude oil price volatilityNew

- evidence. *Resources Policy*, 70, 101943. <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2020.101943>
- Maqueira, C. P., Espinosa-Méndez, C., & Gahona-Flores, O. (2023). How does economic policy uncertainty (EPU) impact copper-firms stock returns? International evidence. *Resources Policy*, 81, 103372. <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2023.103372>
- Mensi, W., Kamal, M. R., Vinh Vo, X., & Hoon Kang, S. (2023). Extreme dependence and spillovers between uncertainty indices and stock markets: Does the US market play a major role? *The North American Journal of Economics and Finance*, 68, 101970. <https://doi.org/10.1016/J.NAJEF.2023.101970>
- Münyas, T. (2021). Petrol fiyatlarının Borsa İstanbul kimyasal, petrol & plastik, sanayi ve ulaştırma sektörlerinin pay senetleri getirilerine etkisi. *Finans Politik & Ekonomik Yorumlar*, 656, 207–224.
- Oralbaykızı Syzdykova, A. (2019). Petrol Fiyat Değişimlerinin BİST Endeks Getirileri Üzerindeki Etkisinin Analizi. *Bilecik Őeyh Edebali Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 4(1), 247–265. <https://doi.org/10.33905/bseusbed.518704>
- Özcan Akdağ, N., Karaatlı, M., & Kocabıyık, T. (2022). BİST ulaştırma endeksinin YSA NARX modeli ile öngörülmesi. *Alanya Akademik Bakış Dergisi*, 6(3), 2721–2746. <https://doi.org/10.29023/alanyaakademik.1088404>
- Pala, O. (2021). IDOCRIW ve MARCOS temelli BİST ulaştırma şletmelerinin finansal performans analizi. *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi*, 12(23), 263–294.
- Sadeghzadeh Emsen, H., & Aksu, L. E. (2020). Borsa İstanbul ve belirsizlik endeksi arasındaki ilişkilerin doğrusal olup olmadığına dair incelemeler (1998:01-2018:12). *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 24(1), 429–446. [https://orcid.org/0000-0001-8824-Şeker, Y., & Atasel, O. Y. \(2022\). COVID-19 pandemisinin BİST Ulaştırma Endeksi'ndeki şirketler üzerindeki etkilerine yönelik bir araştırma. *Kırklareli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11\(1\), 52–74. <https://doi.org/10.53306/klujfeas.1062837>](https://orcid.org/0000-0001-8824-Şeker, Y., & Atasel, O. Y. (2022). COVID-19 pandemisinin BİST Ulaştırma Endeksi'ndeki şirketler üzerindeki etkilerine yönelik bir araştırma. Kırklareli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 11(1), 52–74. https://doi.org/10.53306/klujfeas.1062837)
- Sizer, L., & Karagöz, K. (2022). Petrol fiyatlarının BİST ulaştırma endeksi üzerindeki asimetrik etkisi: NARDL yaklaşımı. *Bursa Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 41(2), 167–187. <http://www.uludag.edu.tr/iibfdergi>
- Soares, L. C., Ferneda, E., & do Prado, H. A. (2022). Transportation and logistics observatories: Guidelines for a conceptual model. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 16, 100682. <https://doi.org/10.1016/J.TRIP.2022.100682>
- Soon, S.-V., & Zubaidi Baharumshah, A. (2021). Exchange rates and fundamentals: Further evidence based on asymmetric causality test. *International Economics*, 165, 67–84. <https://doi.org/10.1016/j.inteco.2020.12.001>
- Tayar, T., Gümüştekin, E., Dayan, K., & Mandi, E. (2020). Covid-19 krizinin Türkiye'deki sektörler üzerinde etkileri: Borsa İstanbul sektör endeksleri araştırması. *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi Salđın Hastalıklar Özel Sayısı*, 293–320.
- Toda, H. Y., & Yamamoto, T. (1995). Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes. *Journal of Econometrics*, 66(1–2), 225–250. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01616-8](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01616-8)
- Tuncay, M. (2021). VIX korku endeksinin BİST sektör endeksleri ile volatilite etkileşiminin CCC-GARCH ile araştırılması: 2013-2020 dönemi. *Dicle Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11(21), 126–146.
- Yan, X., Bai, J., Li, X., & Chen, Z. (2022). Can dimensional reduction technology make better use of the information of uncertainty indices when predicting volatility of Chinese crude oil futures? *Resources Policy*, 75, 102521. <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2021.102521>
- Yu, H., Fang, L., & Sun, W. (2018). Forecasting performance of global economic policy uncertainty for volatility of Chinese stock market. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 505, 931–940. <https://doi.org/10.1016/J.PHYSA.2018.03.083>
- Zeng, Q., Lu, X., Dong, D., & Li, P. (2022). Category-specific EPU indices, macroeconomic variables and stock market return predictability. *International Review of Financial Analysis*, 84, 102353. <https://doi.org/10.1016/J.IRFA.2022.102353>
- Zheng, J., Wen, B., Jiang, Y., Wang, X., & Shen, Y. (2023). Risk spillovers across geopolitical risk and global financial markets. *Energy Economics*, 127, 107051. <https://doi.org/10.1016/J.ENERCO.2023.107051>
- Zhu, H., Chen, Y., Ren, Y., Xing, Z., & Hau, L. (2022). Time-frequency causality and dependence structure between crude oil, EPU and Chinese industry stock: Evidence from multiscale quantile perspectives. *The North American Journal of Economics and Finance*, 61, 101698. <https://doi.org/10.1016/J.NAJEF.2022.101698>
- <https://www.matteoiacoviello.com/gpr.htm> (Erişim tarihi: 12.11.2023)
- https://www.policyuncertainty.com/global_monthly.html (Erişim tarihi: 21.10.2023)

Atf Biçimi / How cite this article

Doğru, E. (2024). Symmetric and asymmetric effects of uncertainties on financial markets: A study of the bist transportation index. *Journal of Transportation and Logistics* 9(1), 97-111. <https://doi.org/10.26650/JTL.2024.1394834>

Customer Dissatisfaction Towards Chatbot Services of e-Commerce Shopping Sites: A Qualitative Analysis

Burak Can Altay¹ , Naim Çetintürk² 

¹(Dr.), İstanbul University, Department of Transportation and Logistics, İstanbul, Türkiye

²(Assist. Prof. Dr.), İstinye University, Faculty of Economics, Administrative and Social Sciences, İstanbul, Türkiye

ABSTRACT

This research examines the customers' comments about the chatbots published in a customer complaint website while shopping from an e-commerce site or app. First, 89 customers' complaints were imported from a customer complaint platform to a single document. Then, the document was subjected to content analysis using a qualitative research tool, Maxqda Plus 2022, and each comment was categorized under related complaint categories. Second, the frequency of customer complaints categories was calculated using the same tool. Additionally, visual maps for each category were created to make the complaints more understandable. While these categorical variables have been addressed in previous studies, variables based on consumer feedback have only been included in this study. According to the research findings, the most frequent customer complaint category is about meaningfulness (with a share of 47.6% in the general total). The least frequent ones are the inability to find a real contact person and the absence of chatbot service (with a share of 7.9%).

Keywords: E-commerce, Chatbot, Customer experience, Customer satisfaction, Dissatisfaction

1. Introduction

The service provided by companies through consumer support lines plays a leading role in customer satisfaction. The content and speed of consumer response is related to corporate performance (Jayachandran et al., 2004). The faster the response to a request or complaint or the solution offered, the quicker consumer dissatisfaction is eliminated (Harrison-Walker, 2001). A live support service that provides assistance at any time creates high costs and effort since it is carried out by customer support staff. It also requires a technical infrastructure that needs to be integrated into a website, mobile site, or mobile application and requires instant data flow. Therefore, taking steps such as extending the first call resolution process and creating a pre-reception team with less technical knowledge stand out as cost-reducing measures (Davenport & Klahr, 1998). The software called "Chatbot" was first developed in 1994 at MIT under the name of Eliza (Arya, 2019). These programs answered customer questions at a very low cost by providing automatic answers according to various keywords entered by the user (Othlinghaus-Wulhorst & Hoppe, 2020). These customer conversation applications created an opportunity to communicate with potential and existing customers through different interfaces and had the feature of self-development as the communication experience increased with technologies such as artificial intelligence and machine learning (T.R. Ministry of Commerce, 2020). Companies minimized the cost of staff and maintained a communication channel that could maintain contact with the consumer 24/7 instead of live support (Cui et al., 2017).

Chatbot applications are widely used in e-commerce sites, especially in service-oriented industries such as telecommunications, healthcare, travel, education, and finance (Waghmare, 2019). By the end of 2030, the global chatbot market is expected to reach a total size of USD 3.41 billion (Acumen Research and Consulting, 2022). However, these applications, use pre-prepared answers or comments to answer questions posed by users or customers (Huang et al., 2007), which sometimes do not provide clear solutions and cause a negative experience for users who want to solve their problems with a live person (Davidow, 2003). Companies can provide good customer support via chatbots only if this system is set up correctly. As a result, forty percent of consumers ask for an interlocutor to convey their positive/negative experience rather than the purpose of obtaining information or asking questions (Xu et al., 2017).

This study aims to determine complaint categories about chatbot software by coding the complaints of customers who shop from e-commerce sites. It also aims to determine the frequency level of complaint categories. Trying to solve an issue directly affecting

Corresponding Author: Burak Can Altay E-mail: canaltay@istanbul.edu.tr

Submitted: 08.09.2023 • Revision Requested: 18.10.2023 • Last Revision Received: 25.10.2023 • Accepted: 15.12.2023 • Published Online: 12.03.2024



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

customer satisfaction and loyalty with basic software can bring significant risks. Most studies conducted to date have measured the efficiency of chatbot software in terms of technical capabilities and service quality. Rare studies focused on increasing chatbot efficiency by categorizing complaints about a single product/service or situation (Anantaram & Sangroya, 2017; Duan et al., 2021). However, the literature lacks studies that directly analyze active customer complaints and feedback about the chatbot service. This paper is expected to bridge this gap in the literature.

The remaining parts of the study consist of four sections. The second section shares a literature review summarizing the studies on chatbot software. The methodology, which reveals the basic approach adopted by this research, is discussed in the following section. The findings of the study are provided in the fourth section. Lastly, the results and suggestions are presented in the fifth section.

2. Literature Review

Past research has focused on both the benefits of chatbot software in terms of cost reduction and fast communication with the customer and the damages caused to companies due to the inability to provide service by a real person. In this context, chatbots were examined concerning their ability to produce meaningful results (Federici et al., 2020), what extent these tools have a human-like sensitivity (Almansor et al., 2021), and increasing the significance level of the given answers (Narendra & Setyaningsih, 2021; Sangroya et al., 2018; Orellana et al., 2021).

Many variables (complaint categories) have come to the fore in previous studies. These variables are meaningfulness, inadequate/incomplete response, presence of a real addressee, usefulness/functionality, quality of service, rationality, and technical competence. Researchers examined the usefulness of chatbots perceived by consumers having chatbot experience and how much these tools can help them in the development context (Brandtzaeg & Følstad, 2017; Jenkins et al., 2007). Another research that applied artificial intelligence, learning process, and role-playing methods (Othlinghaous-Wulhorst & Hoppe (2020) suggested that chatbots are insufficient to understand some customers, especially for specific problems and for issues that require experience or competence and to provide them with a realistic interview experience of the kind they are accustomed to conventional call centers. Similar studies have highlighted that chatbots may provide inadequate and generic responses to specific complaints that require expertise. Therefore, they revealed that such answers could result in customer dissatisfaction (Shawar & Atwell, 2007). Some studies proposed chatbots as an auxiliary element to support real customer representatives (Temple & Elie, 2019). In addition, past studies also suggested that chatbots may have difficulties in using the language of the country served with a stable fluency and distinguishing the truth and falsity of the messages conveyed, while it is effective in understanding complaints, problems, and errors and in reporting appropriate answers (Liu et al., 2022).

In studies involving different variables other than meaningfulness, researchers discussed (Crolic et al., 2022; Chung et al., 2020; Collins et al., 2022; Kuberkar & Singhal, 2020) the anthropomorphic view attributed by the consumer to the chatbots offered instead of the live customer representative. These studies revealed that since there is no real interlocutor, customers frequently perceive the respondent as a chatbot, and they tend to be dissatisfied, especially after a negative shopping experience. When users think the interlocutor is human, not a chatbot, they often share positive social media messages about the service they receive, and complaints decrease (Cheng & Pan, 2021). In some cases, although chatbots provide correct and meaningful responses to the fundamental questions related to the subject of the service, they may be insufficient in solving complex problems (Othlinghaus-Wulhorst & Hoppe, 2020; Khan & Rabbani, 2020). Although Chaves and Gerosa (2020) used different variables such as proactivity, communicability, meeting user expectations, responding appropriately, not deviating from the topic, being able to communicate like a human being, and efficient negotiation in their research on an interactive chatbot design, they gathered all variables under the heading of intelligence in the context of meaningfulness and rationality as a function. Suhaili et al. (2021), who made a systematic evaluation of chatbot software produced with different technologies, stated that the common point of the studies on this technology is the variables related to human similarity (existence of a real interlocutor) and the precision of the given answer (insufficient/incomplete response).

Unlike the studies that concluded that the meaningfulness variable was not efficient enough, in a study conducted during the pandemic period when people did not communicate physically with each other, five different scales of recommendation scores were revealed based on consumer feedback. This study found that chatbots exceeded expectations by an 8.6 satisfaction score (Dosovitsky & Bunge, 2021). Similarly, it was stated that a chatbot prepared to provide career planning support service on Facebook, the world's largest social media platform, satisfied the users by finding and transmitting the requested information. It was also stated that a chatbot can diagnose previously defined diseases of patients after talking to them online (Rigamonti et al., 2021). However, it is believed that chatbots still have difficulties in responding to more comprehensive and personalized complex complaints with meaningful messages, except for the usage of predefined keywords and contents (Ni et al., 2017). In fact, for a chatbot that can produce helpful and accurate responses, the purpose of use and the subject of support need to be determined very specifically (Gashi et al., 2021; Narynov et al., 2021). Raundale and Sawale (2021) revealed that the accuracy of the responses

may exceed 90% when the scope is narrowed. Van Den Broeck et al. (2019) believes that the messages given by chatbots that can produce meaningful answers can be used efficiently, even for advertising purposes (Van Den Broeck et al., 2019).

As users who experience the chatbot system and believe that the interlocutor is a real representative, they perceive it as providing a quality and reliable service. Other studies revealed that customers would be more satisfied regarding service quality when the chatbot system ability to react like a real person (the presence of a real interlocutor) was increased. In contrast, customers may turn to be skeptical of the advice and answers they receive when they know that there is computer software in front of them (Zamora, 2017; Narasiman et al., 2019; Bührke et al., 2021; Hill et al., 2015; Følstad et al., 2018). Another study highlighted the result that the response time of the chatbot is prolonged in users with slow connections, related to internet speed, which is another criterion used in terms of technical competence in the evaluation of chatbots (Suresh et al., 2021).

Various markets need to respond to consumers instantly. On the other hand, since it requires more technical competence, follow-up, and service effort, it is known that there is no live support or alternative chatbots on the websites of businesses or e-commerce pages operating as a marketplace. Although it has certain flaws or does not provide the expected level of service, the existence of chatbots reveals the support effort supplied by an organization to contact the consumer and solve possible problems. In this context, the absence of chatbot service should be evaluated as a complaint category. Table 1 shows which variables have been examined in past studies by comparing the current paper's variables.

Table 1. Past Studies and Used Variables in These Studies

PAST STUDIES		Crolic et al. (2022); Chung et al. (2020); Collins et al. (2022); Kuberkar & Singhal (2020); Cheng & Pan, (2021); Zamora, (2017); Narasiman et al. (2019); Bührke et al. (2021); Følstad, et al. (2018)	Temple & Elie (2019); Othlinghaus-Wulhorst & Hoppe (2020); Gashi et al. (2021); Van Den Broeck et al. (2019); Narynov et al. (2021); Raundale & Sawale (2021); Liu et al. (2022); Sangroya et al. (2018); Chaves & Gerosa (2020); Federici et al. (2020); Almansor et al. (2021); Behere, et al. (2020); Rigamonti, et al. (2021); Orellana et al. (2021)	Suresh et al. (2021); Temple & Ellie (2019); Shawar & Atwell (2007); Anantaram & Sangroya (2017); Lin et al. (2017); Suhaili, et al. (2021)	Brandtzaeg et al. (2017); Jenkins et al. (2007); Othlinghaus-Wulhorst & Hoppe (2020); Khan & Rabbani, (2020); Dosovitsky & Bunge (2021); Duan et al. (2021)
Variables included in the current study		Common Variables in the past studies			
Meaningfulness		X	✓	X	X
	Automatic Responses	X	X	X	X
	Receiving Responses in a Limited Category	X	X	X	X
	Insufficient/incomplete response	X	X	✓	X
	Irrelevance of the responses to the Question	X	X	X	X
	No Response	X	X	X	X
Lack of a real interlocutor		✓	X	X	X
Usefulness		X	X	X	✓
	Quality of Service	✓	X	X	X
	Rationality	X	✓	X	X
	Primitiveness/Level of advancement	X	X	X	X
Technical Competence		X	X	✓	X
Absence of Chatbot Service		X	X	X	X

3. Method

Complaint sites where a negative experience with a brand's product or service is shared are often the first public channels consumers think of to provide feedback (Harrison-Walker, 2001). For this reason, Turkey's most known and visited independent customer complaint platform was used to identify complaints about chatbot services of different e-commerce companies. Each complaint was examined in detail, and irrelevant complaints were eliminated. Then, 89 customers' complaints were collected in a single document.

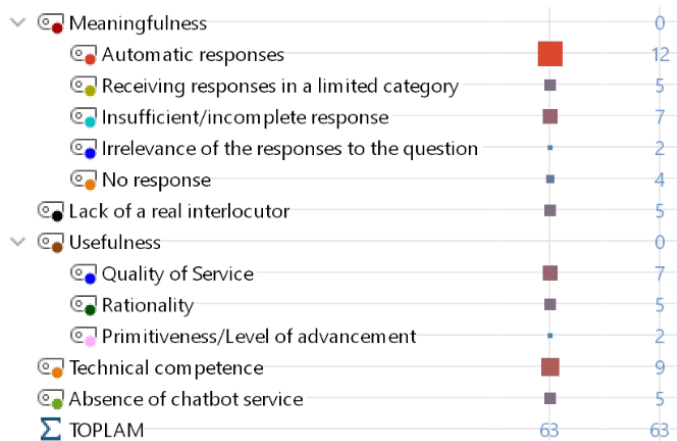
The document, including all complaints, was subjected to content analysis and coded in the Maxqda program to obtain complaint categories. Then, visual maps were created using obtained codes and related complaints through Single case model analysis and Code-subcode segments model analysis in the Maxqda program (Release 22.0.0).

4. Findings

4.1. Frequency Analysis of Complaint Categories

In this study, the complaint categories were first obtained by coding the complaint texts. Then, the frequency level of the complaint categories was determined by selecting the documents column from the "Code Matrix Browser" in the "Visual Tools" menu in the Maxqda program. The frequency values of the complaint categories are shown in Fig. 1. The large or small shapes represented by the square in the figure show the intensity of the customers' complaints in the relevant category. The intensity of the customers' complaints in the relevant category can be understood also by the total number in the same line as the relevant category.

Figure 1. Code Matrix Browser Showing Frequency of Complaint Categories



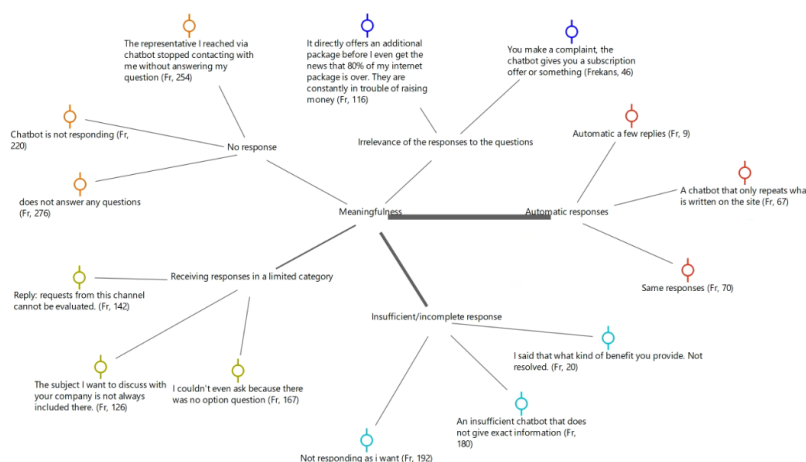
According to the analysis results in Fig. 1, meaningfulness comes first as the main category of customer complaints, with a share of 47.6% in the general total. Accordingly, the most common and obvious problems created by using chatbots are issues such as irrelevant responses, incomplete or insufficient information given in a narrow scope, or not receiving a complete response. However, the main categories in which consumer complaints were gathered the least are the inability to find a real interlocutor, with a share of 7.9% in the general total, and the absence of chatbot service.

The automatic responses come first in the sub-categories, with a 19% share in the general total. Customers believe that chatbots are far from finding solutions to specific problems due to the accepted answers, and they give the impression that a service is offered to the consumers, albeit perfunctorily. The findings show that the sub-category with the least frequency, a share of 3.1% in the general total, is primitiveness/level of advancement.

4.2. Visual Maps for Customer Comments under Each Category

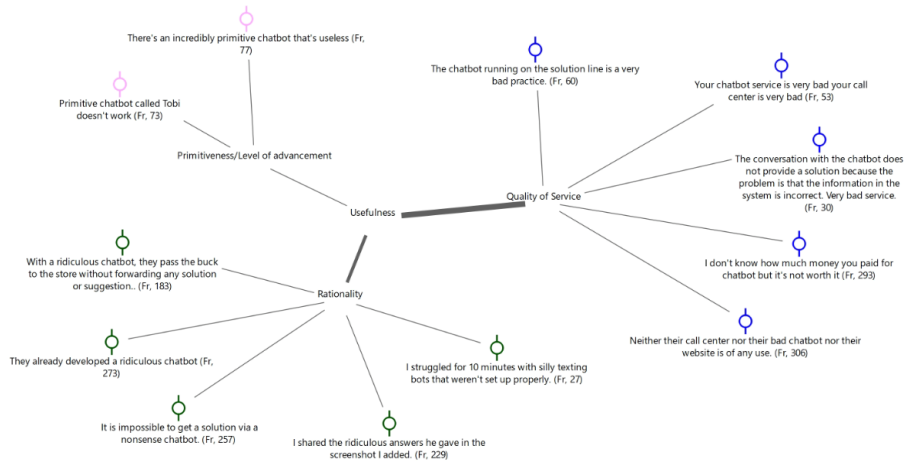
In the last stage of the research, visual maps were created to clearly show customer complaints and interpret them under each complaint category. These maps for complaint categories with sub-codes were obtained via code-subcode segments model analysis, while the ones without sub-codes were created by Single-Case Model (Coded Sections) analysis in the Maxqda. The complaints under each category and where the complaints are mentioned in the text are shown between Fig. 2 and Fig. 6.

Figure 2. Code-Subcode Segments Model Analysis for Meaningfulness Category



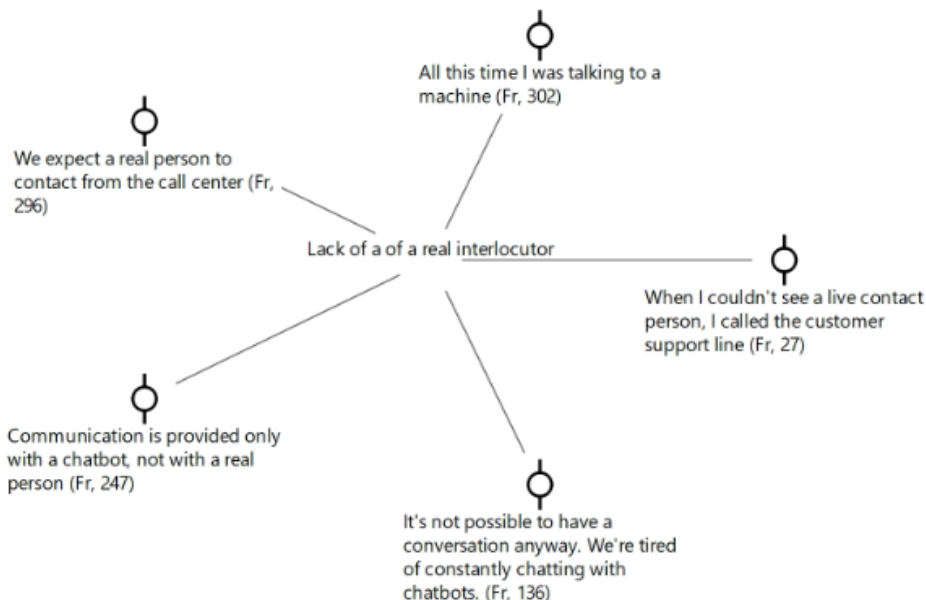
As seen in Fig. 2, there are five sub-categories under the meaningfulness category. The common feature of these sub-categories is that they represent the problems that customers experience in getting answers. Customers often complain because of receiving no, limited, incomplete, monotonous, or irrelevant responses. For instance, customers can find the responses irrelevant when they already have a problem that needs to be resolved but receive offers that may cause additional financial liability through chatbots. The communication realized in such situations can be turned into a negative customer experience.

Figure 3. Code-Subcode Segments Model Analysis for Usefulness Category



As shown in Fig. 3, there are three sub-categories under the main category of usefulness. The common feature of these sub-categories is that they consist of expressions in which customers explain their negative experiences with intense emotions. When the contents of the feedback are examined, it is seen that the customers use the support service, even if it is in the form of a chatbot, with the expectation of performing a specific function. For this reason, a call that seems unproductive regarding functionality or usefulness creates high dissatisfaction factors, especially in service quality.

Figure 4. Single Case Model Analysis for Lack of a Real Interlocutor Category



As seen in Fig. 4, the Lack of a Real Interlocutor category includes five statements. The common feature of these expressions is that they reflect a point of view that the customers find the service provided by the chatbot inadequate compared to a real interlocutor.

Figure 5. Single Case Model Analysis for Technical Competence Category

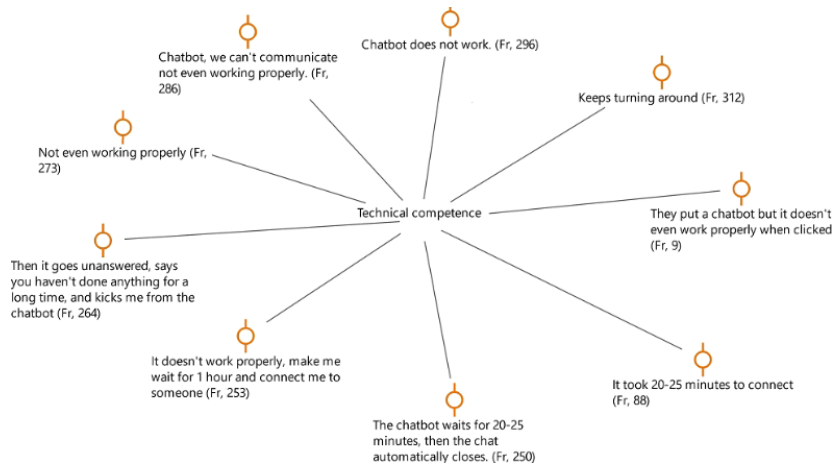
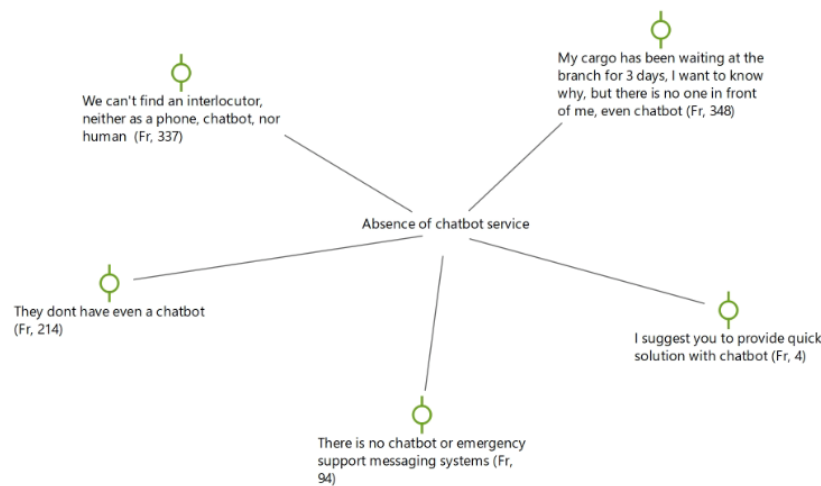


Fig. 5 shows the complaints under the Technical Competence category. These complaints focus on not functioning correctly and systematically.

Figure 6. Single Case Model Analysis for Technical Competence Category



Customers also claim the lack of chatbot service as a subject of complaint. The complaints under the Absence of Chatbot Service category are presented in Fig. 6.

5. Conclusion

This research focuses on determining the complaint categories concerning chatbot service based on the feedback of the users who shop from e-commerce sites and come with the expectation of conveying various questions, requests, and demands by using chatbot software. From this point of view, all the data in the research have been analyzed in line with the different variables that have emerged in the studies of the chatbot system so far and have been analyzed to reflect the expectations and evaluations of Turkish users. When the results of the research are evaluated, it is observed that consumer groups in various markets covering various products or services, regardless of the industry, want to communicate quickly and practically, whether they want to receive information or support about a problem or experience they have, or request feedback. In line with this expectation, companies that do not have the opportunity to provide live support services due to financial or operational limitations should offer at least a convenient channel to their consumers through a chatbot application.

It is a positive factor that consumers find contact with them, even if it is a chatbot. However, planning the chatbot service to cover the content of information and help requests is critical to success. In fact, according to the research findings, the main topic that consumers complained about the most was the lack of meaningful feedback. For this reason, companies or institutions that do not have the opportunity to provide live support but want to meet a particular consumer demand by using chatbots do so only if they

are competent to create sufficient content coverage; otherwise, this well-intentioned approach, which wants to create satisfaction even with limited resources, will cause serious customer dissatisfaction. This research's finding that meaningfulness-related issues have created the highest level of dissatisfaction confirms this fact. Therefore, it would be better not to offer a chatbot service instead of an inefficient chatbot service in terms of user experience.

Users expect to find a live contact person as the standard to have a good customer experience and find satisfactory solutions to their problems. Since conventional customer relations are realized in this way, when individuals recognize that the system they are messaging, despite its live support appearance, is chatbot software that shares pre-prepared answers, they may have more prejudice against this system. For this reason, companies first need to give a prompt or message to their users on the chatbot interface that will make them feel that this system is an automatic message platform. In addition, chatbot service should be considered a tool for a preliminary assessment that will enable users to categorize their problems and direct them to the right solution point (using it as a front desk) instead of solving all specific consumer needs.

Today, artificial intelligence (A.I.) applications, which are very successful in terms of semantic competence, are gradually developing and becoming widespread. These applications, like ChatGPT, expand their content diversity by improving themselves in line with user responses. In the near future, it is highly probable that these applications will meet the needs of companies in a broader perspective through machine learning and become the leading software in the background with applications such as chatbots that aim to provide 24/7 consumer support. For this reason, it is beneficial for industries that require instant consumer communication to create chatbot systems with the proper planning. However, instead of planning it as a stand-alone customer support service, it would be appropriate to consider it as an auxiliary resource that can optimize the load of limited human resources before live support.

The research has limitations. This study used only data from the most widely used complaint site in Türkiye. Therefore, this research lacks data from other complaint sites and resources. In addition, this research focused on only Turkish e-commerce companies. In this respect, conducting the study in different markets is vital to obtain more generalized results.

Peer Review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Conception/Design of Study- B.C.A., N.Ç.; Data Acquisition- B.C.A., N.Ç.; Data Analysis/Interpretation- B.C.A., N.Ç.; Drafting Manuscript- B.C.A., N.Ç.; Critical Revision of Manuscript- B.C.A., N.Ç.; Final Approval and Accountability- B.C.A., N.Ç.

Conflict of Interest: Authors declared no conflict of interest.

Financial Disclosure: Authors declared no financial support.

ORCID IDs of the authors

Burak Can Altay 0000-0002-0572-8848
Naim Çetintürk 0000-0002-8681-320X

REFERENCES

- Acumen Research and Consulting. (2022). Access: 09.01.2022, <https://www.globenewswire.com/news-release/2022/07/25/2485463/0/en/Chatbot-Market-Size-to-Grow-to-USD-3-411-Million-by-2030-Propelled-By-the-Growing-Use-of-Bots-for-Marketing-and-Promotion-Activities.html>
- Almansor, E. H., Hussan, F. K. & Hussain, O. K. (2021). Supervised ensemble sentiment-based framework to measure chatbot quality of services. *Computing*, 103(3), 491-507.
- Anantaram, C. & Sangroya, A. (2017). Identifying latent beliefs in customer complaints to trigger epistemic rules for relevant human-bot dialog. 3rd International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR), 731-734.
- Arya, M. (2019). Access: 09.01.2022, <https://chatbotslife.com/a-brief-history-of-chatbots-d5a8689cf52f>
- Behere, T., Vaidya, A., Birhade, A., Shinde, K., Deshpande, P. & Jahirabadkar, S. (2020). Text summarization and classification of conversation data between service chatbot and customer. 2020 Fourth World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (WorldS4), 833-838.
- Brandtzaeg, P. B. & Følstad, A. (2017). Why people use chatbots. *International Conference on Internet Science*, 377-392.
- Bührke, J., Brendel, A. B., Lichtenberg, S., Greve, M. & Mirbabaie, M. (2021). Is making mistakes human? On the perception of typing errors in chatbot communication. In *Proceedings of the 54th Hawaii International Conference on System Sciences*.
- Chaves, A. P. & Gerosa, M. A. (2020). How should my chatbot interact? A survey on social characteristics in human-chatbot interaction design. *International Journal of Human-Computer Interaction*.

- Cheng, H.-T. & Pan, Y. (2021). "I'm not a Chatbot": An empirical investigation of humanized profiles of social media customer service representatives. 54th Hawaii International Conference on System Sciences, 4167-4176.
- Chung, M., Ko, E., Joung, H. & Kim, S. J. (2020). Chatbot e-service and customer satisfaction regarding luxury brands. *Journal of Business Research*, 117, 587-595.
- Collins, C., Arbour, S., B. N., Yama, S., Laffier, J. & Zhao, Z. (2021). Covid connect: Chat-driven anonymous story-sharing for peer support. *Designing Interactive Systems Conference*, 301-318.
- Crolic, C., Thomaz, F., Hadi, R. & Stephen, A. T. (2022). Blame the bot: Anthropomorphism and anger in customer–chatbot interactions. *Journal of Marketing*, 132-148.
- Cui, L., Huang, S., Wei, F., Tan, C., Duan, C. & Zhou, M. (2017). Superagent: A customer service chatbot for e-commerce websites. *Proceedings of ACL 2017*, 97-102.
- Davenport, T. H. & Klahr, P. (1998). Managing customer support knowledge. *California Management Review*, 40(3), 195-208.
- Davidow, M. (2003). Organizational responses to customer complaints: What works and what doesn't. *Journal of Service Research*, 5(3), 225-250.
- Dosovitsky, G. & Bunge, E. L. (2021). Bonding with bot: User feedback on a chatbot for social isolation. *Frontiers in Digital Health*, 3, 1-11.
- Duan, Y., Yoon, M., Liang, Z. & Hoorn, J. F. (2021). Self-disclosure to a robot: only for those who suffer the most. *Robotics*, 10(3).
- Federici, S., Filippis, M. L., Mele, M. L., Borsci, S., Bracalenti, M., Gaudino, G. & Simonetti, E. (2020). Inside pandora's box: a systematic review of the assessment of the perceived quality of chatbots for people with disabilities or special needs. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 15(7), 832-837.
- Følstad, A., Nordheim, C. B., & Bjørkli, C. A. (2018). What makes users trust a chatbot for customer service? An exploratory interview study. *International Conference on Internet Science*, 194-208.
- Gashi, F., Regli, S. F., May, R., Tschopp, P. & Denecke, K. (2021). Developing intelligent interviewers to collect the medical history: Lessons learned and guidelines. *dHealth*, 18-25.
- Harrison-Walker, L. J. (2001). E-complaining: A content analysis of an internet complaint forum. *Journal of Services Marketing*, 15(5), s. 397-412.
- Hill, J., Ford, W. R. & Farreras, I. G. (2015). Real conversations with artificial intelligence: A comparison between human–human online conversations and human–chatbot conversations. *Computers in Human Behavior*, 49, 245-250.
- Huang, J., Zhou, M. & Yang, D. (2007). Extracting chatbot knowledge from online discussion forums. *IJCAI*, 423-428.
- Jayachandran, S., Hewett, K. & Kaufman. (2004). Customer response capability in a sense-and-respond era: the role of customer knowledge process. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 32(3), 219-233.
- Jenkins, M. C., Churchill, R., Cox, S. & Smith, D. (2007). Analysis of user interaction with service oriented chatbot systems. *International Conference On Human-Computer Interaction*, 76-83.
- Khan, S. & Rabbani, M. R. (2020). Chatbot as Islamic finance expert (CaIFE): When finance meets artificial intelligence. *Proceedings of the 2020 4th International Symposium on Computer Science and Intelligent Control*, 1-5.
- Kuberkar, S. & Singhal, T. K. (2020). Factors influencing adoption intention of A.I. powered chatbot for public transport services within a smart city. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 11(3), 948-958.
- Liu, C., Zhou, S., Zhang, Y., Liu, D., Peng, Z. & Ma, X. (2022). Exploring the effects of self-mockery to improve task-oriented chatbot's social intelligence. *Designing Interactive Systems Conference*, 1315-1329.
- Narasiman, S. K., Srinivassababu, T. H., Suhit Raja, S. & Babu, R. (2019). IndQuery-An online portal for registering e-complaints integrated with smart chatbot. *International Conference on Emerging Current Trends in Computing and Expert Technology*, 1286-1294.
- Narendra, L. W. & Setyaningsih, E. R. (2021). Designing a transactional smart assistant in indonesian using rasa framework. *7th International Conference on Electrical, Electronics and Information Engineering*, 1-6.
- Narynov, S., Zhumanov, Z., Gumar, A., K. M. & Omarov, B. (2021). Development of chatbot psychologist applying natural language understanding techniques. *21st International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*, 636-641.
- Ni, L., Lu, C., Liu, N. & Liu, J. (2017). Mandy: Towards a smart primary care chatbot application. *International symposium on knowledge and systems sciences*, 38-52.
- Orellana, C., Tobar, M. Y., J., P.-O. D. & Guachi-Guachi, L. (2021). A chatterbot based on genetic algorithm: Preliminary results. *International Conference on Applied Informatics*, 3-12.
- Othlinghaus-Wulhorst, J. & Hoppe, H. U. (2020). A technical and conceptual framework for serious role-playing games in the area of social skill training. *Frontiers in Computer Science*, 2(28), 1-20.
- Raundale, P. & Sawale, A. (2021). Dialog prediction in institute admission: A deep learning way. *2nd International Conference for Emerging Technology (INCET)*, 1-5.
- Rigamonti, L., Estel, K., Gehlen, T., Wolfarth, B., Lawrence, J. B. & Back, D. A. (2021). Use of artificial intelligence in sports medicine: a report of 5 fictional cases. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 13(1), 1-7.
- Sangroya, A., Anantaram, C., Saini, P. & Rawat, M. (2018). Extracting latent beliefs and using epistemic reasoning to tailor a chatbot. *IJCAI*, 5853-5855.
- Shawar, B. A. & Atwell, E. (2007). Different measurements metrics to evaluate a chatbot system. *Proceedings of the Workshop on Bridging the Gap: Academic And Industrial Research in Dialog Technologies*, 89-96.
- Suhaili, S. M., Salim, N. & Jambli, M. N. (2021). Service chatbots: A systematic review. *Expert Systems with Applications*, 184.
- Suresh, N., Mukabe, N., Hashiyana, V., Limbo, A. & Hauwanga, A. (2021). Career counseling chatbot on facebook messenger using A.I. *ACM International Conference Proceeding Series*, 65-73.

- Temple, J. G. & Elie, C. J. (2019). Beyond the chatbot: enhancing search with cognitive capabilities. *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*, 283-290.
- Van Den Broeck, E., Zarouali, B. & Poels, K. (2019). Chatbot advertising effectiveness: When does the message get through? *Computers in Human Behavior*, 98, 150-157.
- Waghmare, C. (2019). *Business Benefits of Using Chatbots*. Apress.
- Xu, A., Liu, Z., Guo, Y., Sinha, V. & Akkiraju, R. (2017). A new chatbot for customer service on social media. *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 3506-3510.
- Zamora, J. (2017). I'm sorry, dave, i'm afraid i can't do that: Chatbot perception and expectations. *Proceedings of the 5th International Conference on Human Agent Interaction*, 253-260.

How cite this article

Can Altay, B., Çetintürk, N. (2024). Customer dissatisfaction towards chatbot services of e-commerce shopping sites: A qualitative analysis. *Journal of Transportation and Logistics* 9(1), 112-120. <https://doi.org/10.26650/JTL.2024.1355850>

Bulanık CRITIC ve Bulanık EDAS Yöntemleri ile 3 Boyutlu Yazıcı Seçimi

3D Printer Selection by Using Fuzzy CRITIC and Fuzzy EDAS Methods

Nihan KABADAYI¹ , Sündüs DAĞ² 

¹(Doç. Dr.), İstanbul Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Üretim Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

²(Doç.Dr.), İstanbul Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Üretim Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

ÖZ

Günümüzde katmanlı imalat bir diğer adıyla 3 boyutlu yazıcı çok sayıda farklı sektörde hem prototipleme hem de parça üretimi için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Geleneksel üretim yöntemlerine göre birçok avantaj sağlayan 3 boyutlu yazıcı teknolojileri sağlık sektöründen eğitim sektörüne ve inşaat, otomotiv sektöründen gıda sektörüne kadar geniş bir yelpazede kendini göstermektedir. 3 boyutlu yazıcıların kullanımı işletmelere maliyet, zaman, kaynak avantajı ve kişiselleştirilmiş ürünler üretme imkânı gibi stratejik avantajlar sunmaktadır. Bu sebeple işletmeler için 3 boyutlu yazıcı seçimi kritik öneme sahip bir karar süreçlerinden biridir.

Bu çalışmada, Kayseri ilinde plastik mobilya aksamaları üreten bir firmanın prototipleme ve tasarım amacıyla kullanacakları 3 boyutlu yazıcının seçim problemi ele alınmıştır. Çözüm için Bulanık CRITIC ve bulanık EDAS yöntemlerinden oluşan bütünlük bir Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi (ÇKVV) önerilmiştir. İlk aşamada grup Teknik, Ekonomi, Performans ve Çevre başlıkları altında toplanan 20 farklı kriterin ağırlıkları bulanık CRITIC yöntemi uygulanarak belirlenmiştir. İkinci aşamada, firma yetkilileri tarafından üretimlerine uygun olabilecek dört farklı 3 boyutlu yazıcı belirlenerek, bulanık EDAS yöntemi ile bu alternatif yazıcıların sıralaması gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmanın sonucunda firmanın 3 boyutlu yazıcı seçim kararında en etkili kriterin atık oluşumu (K20) olduğu belirlenmiştir. Bu kriter, 3 boyutlu üretimin baskı sürecinde kullanılmayan veya atılan malzeme miktarını ifade eder. Atık oluşumu, üretim süreçlerinin çevresel sürdürülebilirliğini ve maliyetlerini doğrudan etkilediği için firma için önemlidir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, firma için en uygun 3 boyutlu yazıcı modeli Flashforge Creator 3 (A1) olarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda belirlenen model ile firmanın prototip üretimi, prototipten ürüne geçiş ve hata tespiti gibi kritik süreçlerde fayda elde etmesi beklenmektedir.

ABSTRACT

Nowadays, additive manufacturing, also known as three-dimensional (3D) printing, is widely used in many different sectors for both prototyping and part production. 3D printer technologies, which offer more advantages compared with traditional production methods, are applied in a wide range of sectors, from health, education construction, automotive, to food. The utilization of 3D printers offers businesses numerous advantages, including cost reduction, time savings, efficient resource utilization, and the ability to produce customized products. Therefore, selection of 3D printers is a critical decision-making process for businesses. This study discusses the 3D printer selection problem of a furniture parts company located in Kayseri, Turkey. An integrated multicriteria decision making (MCDM) approach, which comprises the fuzzy CRITIC (CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation) and fuzzy EDAS (Evaluation based on Distance from Average Solution) methods, is proposed for the solution. In the first stage, weights of 20 subcriteria gathered under the four main criteria (technical, economy, performance, and environment) are determined using the fuzzy CRITIC method. In the second stage, possible four different 3D printer options were determined by the company experts, and all four of these options were ranked using the fuzzy EDAS method. The application results indicated that waste generation (K20) holds significant importance as a criterion in the company's 3D printer selection process. Waste generation refers to the amount of material discarded or unused during the printing process, which directly impacts both environmental sustainability and production costs. Moreover, the results identified the Flashforge Creator 3 (A1) as the most suitable printer among all the options considered.

Anahtar Kelimeler: 3 Boyutlu Yazıcı, Katmanlı imalat, Çok kriterli karar verme, CRITIC, EDAS, Bulanık

Keywords: 3D printer, Additive manufacturing, Multi-criteria Decision Making, CRITIC, EDAS, Fuzzy

Corresponding Author: Nihan Kabadayı E-mail: nihank@istanbul.edu.tr

Submitted: 27.07.2022 • **Revision Requested:** 16.05.2023 • **Last Revision Received:** 29.05.2023 • **Accepted:** 27.03.2024 • **Published Online:** 15.04.2024



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

EXTENDED ABSTRACT

Nowadays, additive manufacturing, also called three-dimensional (3D) printing, is widely used in many different sectors for both prototyping and part production. 3D printer technologies, which offer more advantages compared with traditional production methods, are employed in a wide range of sectors, from health, education, construction, automotive to food. The utilization of 3D printers offers businesses numerous advantages, including cost reduction, time savings, efficient resource utilization, and the ability to produce customized products. Furthermore, the integration of 3D printers into manufacturing operations helps companies develop their local production capabilities. Therefore, 3D printing is anticipated to offer significant flexibility to the global supply chain by enabling companies to quickly adapt to changes in demand or product specifications. For example, if there is a sudden surge in demand for a particular product, manufacturers equipped with 3D printers can swiftly adjust their production schedules and begin manufacturing the required items without the need for retooling or extensive lead times. Additionally, 3D printing enhances resilience within the supply chain by reducing dependency on centralized production facilities and long-distance transportation networks. In the event of disruptions such as natural disasters or geopolitical conflicts affecting traditional manufacturing hubs, companies can utilize local 3D printing capabilities to maintain continuity in production and meet customer demands. This decentralized approach mitigates risks associated with supply chain disruptions and enhances the overall resilience of the global manufacturing ecosystem. In addition, local production with 3D printers in the supply chain helps reduce carbon footprint and decrease transportation costs of finished products, thanks to the more effective use of materials.

As a result, the environmental impact of enterprises during production and distribution processes is diminished, leading to increased efficiency in resource utilization. Consequently, businesses stand to gain from improved sustainable supply chain capabilities. Recently, 3D printers have become a popular tool in the market that can be used for different purposes. The market offers a wide range of 3D printer models with varying functions and print quality across different price ranges. Therefore, selecting the appropriate 3D printer model based on intended use and budget has become a crucial decision for businesses.

The selection of a 3D printer can be considered as a classical multicriteria decision-making (MCDM) problem, as it involves evaluating options against multiple criteria. This study proposes a practical decision-making tool that companies can utilize to select 3D printers suitable for their specific purposes. In addition, a comprehensive list of criteria for 3D printer evaluation is provided to guide companies through the decision-making process of 3D printer selection. An integrated MCDM method, comprising the fuzzy CRITIC (CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation) and fuzzy EDAS (Evaluation based on Distance from Average Solution) methods, is suggested for the solution. Criteria weights are determined using the fuzzy CRITIC method, which calculates the importance level of each criterion both objectively and subjectively while processing a large set of criteria. The fuzzy EDAS method, which is a practical method to solve MCDM problems involving many criteria, ranks the alternative 3D printer models. This study contributes to the literature by showing, for the first time, the integrated use of the fuzzy CRITIC and fuzzy EDAS methods for solving 3D printer selection problems.

This study tests the real-life problem solution performance of the proposed model on a production company located in Kayseri, Turkey. In the first stage, weights of 20 subcriteria gathered under the four main criteria (technical, economy, performance, and environment) are determined via the fuzzy CRITIC method. In the second stage, four different 3D printer models (Flashforge Creator 3, Zortrax M200 Plus, Ultimaker 2+ connect, and Zaxe Z1) are suggested by the company experts; these four options are then ranked using the fuzzy EDAS method. Following this, Flashforge Creator 3 is selected as the most suitable 3D printer model for the company. The feedback collected from the company experts revealed that the company has reaped many benefits in prototype production after it started to utilize the selected 3D printer model. Thanks to the utilization of 3D printers, the company has experienced several advantages, including reduced transition time from prototype to product, early-stage error detection such as during the design process, and the ability to adjust models according to customer needs, consequently improving customer satisfaction.

1. Giriş

Endüstri 4.0 ile birlikte birçok teknolojinin üretim ve tedarik zinciri yönetimi alanında kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu teknolojilerden birisi de katmanlı imalat teknolojileridir. Önceleri sadece prototipleme amacı ile kullanılan katmanlı imalat teknolojileri bilgisayar teknolojilerindeki ve malzeme bilimindeki gelişmelere paralel olarak diğer alanlarda da farklı amaçlarla kullanılmaya başlamıştır (Karagöz vd., 2021). Günümüzde birçok firma prototip, kalıp ve parça üretiminde 3 boyutlu yazıcı gibi katmanlı imalat teknolojilerinden yararlanmaktadır. Katmanlı imalat teknolojisinde 3 boyutlu sanal bilgisayar destekli bir tasarım modeli üçgensel kafes yüzeyli bir modele dönüştürüldükten sonra bu 3 boyutlu model özel yazılımlarla katmanlara ayrıştırılmakta ve 3 boyutlu yazıcı ile en alt katmandan başlayarak katman katman fiziksel bir ürüne dönüştürülmektedir (Kahraman, 2021).

Günümüzde hızla değişen müşteri istekleri ve ürünlerin kısalan yaşam eğrileri nedeniyle firmalar küçük partiler halinde ve çok çeşitlilikteki ürünü daha kısa sürede ve az maliyet ile üretmeyi hedeflemektedir. Katmanlı imalat yöntemlerinin sağlamış olduğu hızlı prototipleme, hızlı imalat ve hızlı kalıp üretimi sayesinde firmaların bu hedeflerine ulaşması mümkün hale gelmektedir. 3 boyutlu yazıcıların üretimde kullanılmasıyla birlikte firmalar kaliteli parça üretimi, kullanım kolaylığı, hızlı tasarım ve üretim, düşük maliyet, çeşitli ürün üretimi gibi avantajlardan faydalanabilmektedir (Khamhong vd., 2019). Buna ilaveten, 3 boyutlu

yazıcıları üretim operasyonlarına dahil edilmesi firmaların lokal üretim yeteneklerini gelişmesine katkı sağlamaktadır. Bu da tedarik zincirlerinin esneklik ve dayanıklılık kazanmasına yardımcı olacaktır. Ayrıca tedarik zincirinde 3 boyutlu yazıcılar ile lokal üretimin gerçekleştirilmesi malzemelerin daha etkin kullanılması sayesinde karbon ayak izinin azaltılması ve bitmiş ürünlerin taşıma maliyetlerinin azaltılmasına fayda sağlamaktadır. Bu sayede işletmelerin üretim ve dağıtım süreçlerinde çevreye vermiş oldukları zararlar azalmış ve kaynakların kullanımı açısından verimlilikleri artmış olacaktır. Bu da işletmelerin sürdürülebilir tedarik zinciri yeteneklerini arttırmaya fayda sağlayacaktır. Günümüzde sürdürülebilirliğin önemi düşünüldüğünde bu teknolojilere yatırım yapmanın firmalar açısından bir başka önemli bir faydasının sürdürülebilir üretim yeteneklerinin gelişmesi olduğu söylenebilir (Shanker, 2021). Bu sebeplerle son yıllarda 3 boyutlu yazıcıların işletmeler tarafından farklı avantajlar elde edebilmek amacıyla kullanımı giderek artmaktadır. 2021 yılında küresel 3 boyutlu yazıcı pazar değeri 15,10 milyar dolar olarak kaydedilmiştir. Bu değer tahminleme dönemi boyunca yıllık bileşik % 24,3 büyüme oranıyla 2022 yılında 18,33 milyar dolara ulaşması ve 2029 yılında 83,90 milyar dolar olacağı tahmin edilmektedir. 2019 yılı ile karşılaştırıldığında küresel pazar büyüme oranının 2020 yılında ortalama %20,2 olduğu gözlemlenmiştir (Fortune Industry Report, 2021).

3 boyutlu yazıcıların özellikle imalat sektöründe kullanımı son yıllarda artmış olmakla birlikte ilk olarak sanayide kullanımı otuz yıl öncesine dayanmaktadır. Bu otuz senelik süreç içerisinde 3 boyutlu yazıcılar hem fiziksel olarak hem de teknolojik olarak birçok değişim geçirmiştir (Sönmez vd., 2018). Hayatımızın her alanında kullanılır duruma gelen 3 boyutlu yazıcılar sağlık sektöründen eğitim sektörüne ve inşaat, otomotiv sektöründen gıda sektörüne kadar geniş bir yelpazede kendini göstermektedir. Bu sebeple piyasada farklı kullanım amaçlarına uygun farklı modellerde 3 boyutlu yazıcıların üretimi gün geçtikçe artmaktadır. Piyasada farklı fiyat aralıklarında farklı fonksiyon ve baskı kalitesini sunan çok sayıda 3 boyutlu yazıcı modeli bulunmaktadır. Bu sebeple işletmeler için kullanım amaçlarına ve bütçelerine uygun 3 boyutlu yazıcı modelinin belirlenmesi önemli bir karar haline gelmiştir. Piyasada bulunan farklı modellerdeki 3 boyutlu yazıcılar arasından işletmenin belirlemiş olduğu farklı kriterlere göre en uygun olanının seçilmesi klasik bir ÇKKV problemi olarak ele alınabilir.

Bu çalışmada işletmelerin 3 boyutlu yazıcı seçiminde kullanabilecekleri bütünlük bir ÇKKV yöntemi sunulmuştur. Bu yöntemde 3 boyutlu yazıcı seçiminde kullanılacak olan kriterlerin önem derecesi bulanık CRITIC (CRITERIA Importance Through Intercriteria Correlation) yöntemi ile belirlenmiştir. CRITIC yöntemi kriter ağırlıklarını hem objektif hem de subjektif bakış açısıyla değerlendirmeye imkan vermektedir. Bunun yanı sıra CRITIC yöntemi, korelasyon ve standart sapma gibi istatistiksel göstergeler ile değerlendirme yaparak sonuç sunması nedeniyle tercih edilmiştir. Alternatif 3 boyutlu yazıcıların belirlenen kriterlere göre değerlendirilmesi ve sıralanması bulanık EDAS (Evaluation based on Distance from Average Solution) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. EDAS yöntemi ise literatürde çok fazla kullanılmamış olması ve uygulamasındaki kolaylık nedeniyle tercih edilmiştir. Çalışmanın uygulama bölümünde bir mobilya firmasında kalıp üretimi için kullanılacak olan 3 boyutlu yazıcının seçimi için bulanık CRITIC ve bulanık EDAS yöntemi uygulanmıştır. Çalışmada ele alınan 3 boyutlu yazıcı seçiminde çoğunlukla nitel özellik taşıyan kriterler bulunmaktadır. Bu nedenle karar vericilerin gerçek hayattaki kesinlik içermeyen durumları problemin çözümüne daha iyi yansıtmasına yardımcı olan bulanık yöntemler tercih edilmiştir. Türkçe literatürde 3 boyutlu yazıcı seçim problemini ele alan çok az sayıda yayın olması ve bu çalışmada kullanılmış olan bütünlük yöntemin Türkçe literatürde henüz çalışılmamış olması bu çalışmanın ulusal literatüre katkısıdır. Ayrıca uluslararası literatürde bulanık CRITIC ve bulanık EDAS yöntemlerinin birlikte 3 boyutlu yazıcı seçim probleminin çözümü için daha önce kullanılmamış olması sebebiyle bu çalışmanın uluslararası literatüre katkısı olacağı düşünülmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde literatürdeki çalışmalar dört başlık altında incelenmiştir. Bunlar; 3 boyutlu yazıcı seçimi ile ilgili çalışmalar, CRITIC yöntemi ile yapılmış olan çalışmalar, EDAS yöntemi ile ilgili yapılmış olan çalışmalar ve CRITIC ve EDAS yöntemini birlikte ele alan çalışmalardır. Üçüncü bölümde çalışmada kullanılan metotlar açıklanmıştır. Burada bulanık mantık ile ilgili genel bilgiler verildikten sonra bulanık CRITIC ve bulanık EDAS yöntemlerinin çalışma prensibi anlatılmıştır. Dördüncü bölümde ise çalışmada kullanılmış olan metotların gerçek hayat probleminde uygulaması gösterilmiştir. Son bölümde ise gelecek çalışmalara yol gösterici olabilmesi amacıyla ele alınan problem ve metot ilgili sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

2. Literatür Taraması

Bu çalışmada literatür dört boyutta incelenmiştir. Bunlar; 3 boyutlu yazıcı seçimi ile ilgili yapılmış olan çalışmalar, bulanık CRITIC yöntemi ile ilgili yapılmış olan çalışmalar ve bulanık EDAS yöntemi ile ilgili yapılmış olan çalışmalar ve bulanık CRITIC ve bulanık EDAS yöntemleri ile birlikte yapılmış olan çalışmalardır.

Roberson vd. (2013) masaüstü 3 boyutlu yazıcı modellerinin standart bir parçayı üretme yetenekleri üzerinden değerlendirilmesi için bir karar modeli oluşturmuştur. Standart parçanın bilgisayar ortamında tasarımı tamamlandıktan sonra farklı model 3 boyutlu yazıcılar ile üretimi gerçekleştirilip çıktı ürünlerin modele uygunluk derecesi ve bitiş yüzeyi değerlendirilmiştir. Ayrıca farklı 3 boyutlu yazıcı modellerinin değerlendirilmesi için tekli veya çoklu parçaların üretim zamanı, malzeme kullanımı ve birim maliyet kriterleri de ele alınmıştır. Çalışmada en uygun 3 boyutlu yazıcı seçimi için ilgili kriterlerin değerlendirilmesini sağlayan bir yöntem geliştirilmiştir. Mançanares vd. (2015) üretilen parçaların özelliklerine bağlı olarak bir katmanlı imalat süreci seçim çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada ileri sürülen yöntem AHP temelli bir yöntemdir. Çalışmada 3 boyutlu yazıcı seçim süreci iki aşamada ele alınmıştır. Öncelikle üretilen her bir parça için boyut ve malzeme gibi kısıtlayıcı faktörler analiz edilmiştir. Daha sonra

3 boyutlu yazıcılar teknolojik ve performans özelliklerine göre karşılaştırılmıştır. Netto vd. (2019) uygun fiyatlı 3 boyutlu yazıcı seçimi için AHP yöntemini uygulamıştır. Çalışmada üç farklı model 3 boyutlu yazıcı teknik performans, yazılım yetenekleri ve ekonomik özellikleri ana kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Burada teknik performans ana kriterinin altında yüzey düzgünlüğü, boyutsal uygunluk, geometrik uygunluk, baskı süresi alt kriterleri ele alınmış, yazılım yetenekleri ana kriterinin altında baskı hızı tahmini, malzeme kullanım miktarı tahmini alt kriterleri ele alınmış ve ekonomik özellikler ana kriterinin altında ise fiyat ve kullanılan malzeme fiyatı alt kriter olarak ele alınmıştır. AHP yönteminin uygulama sonucuna göre teknik performans en önemli ana kriter olarak belirlenirken yüzey düzgünlüğü de bu ana kriterin altındaki en önemli alt kriter olarak belirlenmiştir. Chen ve Wu (2021) çalışmalarında bulanık-ışbirlikçi akıllı AHP yöntemini kullanarak on farklı model 3 boyutlu yazıcıyı yedi kritere göre karşılaştırmıştır. Çalışmada 3 boyutlu yazıcı değerlendirmesinde kullanılan kriterler fiyat, değerlendirme notu, desteklenen uygulama tipi sayısı, baskı alanı, baskıda kullanılabilir renk seçenekleri ve desteklenen malzeme türü sayısıdır. Bu çalışmada bulanık-ışbirlikçi akıllı AHP yöntemi, grup karar verme yöntemi olan bulanık geometrik ortalama (FGM) ve bulanık kapsam analizi (FEA) yöntemleriyle karşılaştırılmış ve bulanık-ışbirlikçi akıllı AHP yönteminin karar vericilerin ortak fikirlerini yansıttığı için diğer yöntemlere göre daha geçerli sonuçlar ürettiği sonucuna varılmıştır. Prabhu ve Ilankumaran (2019), 3 boyutlu yazıcı seçimi için bulanık AHP, VIKOR ve ELECTRE yöntemlerini birlikte uygulamıştır. Bu çalışmada on farklı model 3 boyutlu yazıcı hacim, baskı hızı, katman kalınlığı, ekstrüder, fiyat ve filament malzemesinin maliyeti olmak üzere altı kritere göre değerlendirilmiştir.

Çetinkaya vd. (2017) çalışmalarında üç boyutlu yazıcı sektöründe faaliyet gösteren bir AR-Ge firması için en iyi üç boyutlu yazıcı seçimini gerçekleştirmek amacıyla bulanık AHP ve PROMETHEE yöntemlerini kullanmışlardır. Bu çalışmada 3 boyutlu yazıcı seçimi için önemli olabilecek 17 alt kriter, teknik, ekonomik, performans ve çevre olmak üzere 5 ana kriter altında ele alınmıştır. Khamhong vd. (2019) 3 boyutlu yazıcı seçiminde önemli olabilecek kriterleri teknik uzmanların ve kullanıcıların farklı bakış açılarını ele alarak incelemiştir. 3 boyutlu yazıcı seçiminde etkili olabilecek kriterleri yazıcı ile üretilen ürün, yazıcının teknik özellikleri ve üretimde kullanılan malzeme özellikleri olmak üzere üç ana kriter altında sınıflandırmıştır. Bu çalışmada kriter ağırlıklarının belirlenebilmesi için bulanık AHP yöntemi uygulanmıştır. Ransikarbum ve Khamhong (2021) sağlık sektöründe 3 boyutlu yazıcı seçimi için bulanık AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanmıştır. Bu çalışmada sağlık sektöründe kullanılan endüstriyel tip ve masaüstü tip olmak üzere iki farklı tip üç boyutlu yazıcı seçim süreci incelenmiştir. Üç boyutlu yazıcı seçiminde kullanılan kriterler, yazıcıdan elde edilen ürünün özellikleri, teknik özellikler ve malzeme özellikleri olmak üzere üç ana kriter sınıfı altında gruplandırılmıştır. Rakhade vd. (2021) bir akademik kurumun inovasyon merkezi için 3 boyutlu yazıcı seçimi konusunda çalışma yapmışlardır. İnovasyon merkezi için uygun olan 10 farklı 3 boyutlu yazıcı tipi belirlenmiş ve yazıcılar 3 ana kriter (ekonomik, fiziksel ve operasyonel gereksinimler) 9 alt kriter (baskı hacmi, filament kalınlığı, baskı hızı, ağırlık, hizmet maliyetleri, ekstrüzyon sıcaklığı, enerji tüketimi ve enerji ihtiyacı) bazında değerlendirmeye tabi tutulmuştur. AHP yöntemi ile kriter ağırlıkları belirlenmiş ve TOPSIS yöntemi ile yazıcıların sıralaması yapılmıştır. Sonuç olarak inovasyon merkezine en uygun yazıcı modeli ET4 PRO 3IDEA olarak belirlenmiştir.

Zagudillin vd. (2021) insansız hava araçlarının üretiminde kullanılan 3 boyutlu yazıcıların kalitesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın amacı, insansız hava araçları için yüksek kaliteli parça ve düzeneklerin üretiminde 3 boyutlu yazıcıların tasarımını ve kinematikliğini, QFD metodolojisinin uygulanmasına dayalı olarak daha fazla işlem yapmadan analiz etmektir. Çalışmaya göre, kaliteli parça üretimi için 3 boyutlu yazıcıların en önemli özellikleri: çalışma odasının boyutları, yüzey düzgünlüğü, yapısal güvenilirlik, çoklu materyal kullanımı, güvenilirlik, kullanım kolaylığı ve bakım, stabil çalışma ve işletim, hazırlık ve satınalma maliyetleridir.

Literatür incelendiğinde, çok sayıda çalışmada CRITIC yönteminin kriter ağırlıklarının belirlenmesinde diğer ÇKKV yöntemleriyle birlikte farklı uygulama alanlarında kullanıldığı tespit edilmiştir. Wang ve Zhao (2016) tornalamada kullanılan seramik alet malzemelerinin mekanik özelliklerinin optimizasyonu için AHP ve CRITIC yöntemlerini birlikte kullanmışlardır. Adalı ve Işık (2017) fason imalatçı seçim probleminde kullanacağı kriterlerin ağırlıkları için CRITIC yöntemini ve imalatçıların tam sıralaması için MAUT yöntemini önermiştir. Demircioğlu ve Coşkun (2018) tüketicilerin en uygun kesintisiz güç kaynağı tercihleri konusunda yaptıkları çalışmada CRITIC yöntemiyle kriter ağırlıklarını belirledikleri ve MOOSRA yöntemi ile ise alternatifleri sıralamışlardır. Tuş ve Adalı (2019) özel bir hastanedeki zaman ve devamlılık yazılımı seçiminde ilk kez CRITIC ve WASPAS yöntemlerini bir arada kullanmışlardır. Kriterlerin ağırlıkları CRITIC yöntemi ile belirlenmiş ve en uygun alternatifin bulunması için alternatifler WASPAS yöntemi ile sıralanmıştır. Ayçin (2020) lojistik sektöründe gerçekleştirdiği çalışmasında bilgi sistemleri departmanına alınacak personelin seçim sürecinde CRITIC ve MAIRCA yöntemlerini bir arada kullanılmıştır. Wang vd. (2021) hastane binalarının yer seçimi için önemli kriterleri belirlemişler ve bu kriterlerin ağırlıklarını CRITIC yöntemi ile tayin etmişlerdir. Daha sonra GRP yöntemi ile hastane inşaatı için en uygun bölgeyi belirlemişlerdir. Bu çalışmalara ek olarak pek çok farklı alanda CRITIC yöntemi bulanık sayılar kullanılarak uygulanmıştır. Yang vd. (2021) nesnelerin interneti (IoT) uygulamalarının üretim sektöründeki sürdürülebilir tedarik zinciri çalışmalarına olan etkilerini araştırmışlardır. Her firmanın sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimine IoT uygularken düşünmesi gereken konular hakkında bilgi vermişlerdir. Kriter ağırlıklarının tahmin edilmesinde bulanık CRITIC yöntemini; önceliklendirmede ise bulanık VIKOR yöntemini kullanmışlardır. Ali (2021) gerçekleştirdiği çalışmada CRITIC yöntemini kriter ağırlık bilgisinin tamamen bilinmediği durumla başa çıkmak için küresel bulanık ortama taşımıştır. Çalışmanın önemini göstermek için akıllı telefon seçim problemi üzerinde geliştirdiği modeli uygulamıştır. Ghorabae vd. (2018)

inşaat ekipmanlarının çevreye olan etkisini sürdürülebilirlik açısından değerlendirebilmek için bulanık CRITIC, bulanık SWARA ve bulanık EDAS yöntemlerini içeren hibrit bir model önermiştir. Rostmzadeh vd. (2018) sürdürülebilir tedarik zinciri risk yönetimi değerlendirmesi için bir çerçeve geliştirmeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla, TOPSIS ve CRITIC yöntemleri ile kriterlerin önemine dayalı olarak entegre bir bulanık çok kriterli karar verme yaklaşımı önermişlerdir. Çalışmanın bulgularına göre en baskın riskler makine ve ekipman riskleri, tedarikçi hataları, talep dalgalanmaları, hükümet politikası riskleri, bilişim teknolojileri güvenliği ve ekonomik sorunlar olarak tespit edilmiştir. Narayanamoorthy vd. (2019) yenilenebilir su kaynaklarından geri kazanılmış suyun kullanım alanlarının sürdürülebilirlik çerçevesinde değerlendirilmesinde çok kriterli karar verme tekniklerinden faydalanmışlardır. Alternatifleri kriterler bazında değerlendirirken kullanacakları ağırlıkları Tereddütlü bulanık CRITIC yöntemi ile belirlemişler ve sonrasında Tereddütlü bulanık MAUT yöntemini kullanarak alternatifleri sıralamışlardır. Saraji vd. (2021) fintech şirketlerinde Endüstri 4.0'ın benimsenmesinin önündeki zorlukları belirlemeyi ve şirketlerin ağırlıklı zorluklarla ilgili performansını üç temele dayalı olarak değerlendirmek için yeni bir Fermatean bulanık CRITIC-COPRAS yöntemi geliştirmeyi amaçlamışlardır. Endüstri 4.0'ın benimsenmesinin önündeki 14 zorluk içerisinden en önemli zorluğun koordinasyon ve işbirliğindeki zorluk olduğunu ve bunu değişime direnç ve hükümet desteğinin izlediğini belirtmişlerdir. Harleem vd. (2021) döngüsel ekonomi bağlamında Hindistan'daki otomotiv sektörü tedarikçilerinin seçiminde bulanık CRITIC ve bulanık TOPSIS bütünlük yöntemini kullanmışlardır. Altı ana kriter ve yirmi dört alt kriter uzmanlar tarafından değerlendirilmiş ve çevre kriteri en önemli faktör olarak tespit edilmiştir. Alipour-Bashary vd. (2021) inşaat sektöründeki riskleri değerlendirmek için bulanık hata ağacı analizi, bulanık CRITIC ve bulanık TOPSIS yöntemlerini kullanmışlardır. Daha sonra risk karar matrisi yardımıyla riskleri sınıflandırmış ve her bir riskin önem derecesine göre uygun stratejiler sunmuşlardır.

EDAS yöntemi yeni bir ÇKKV yöntemi olmasına rağmen literatürde çok sayıda farklı problemin çözümünde kullanılmıştır. EDAS yöntemini ilk olarak çalışmış olan Ghorabae vd. (2015) bu yöntemi çok kriterli stok sınıflandırma probleminin çözümünde kullanmıştır. Bu çalışmada 47 stok kalemi üç kritere göre değerlendirilerek sıralanmıştır. Ayrıca bu makalede EDAS yöntemi VIKOR, TOPSIS, COPRAS ve SAW gibi diğer ÇKKV yöntemleri ile karşılaştırılarak yöntemin geçerliliği test edilmiştir. Böylece EDAS yönteminin ÇKKV problemlerinin çözümünde bilinen diğer yöntemlerle tutarlı sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir. Ulutaş (2017) EDAS yöntemini üretim kapasitesini arttırmak isteyen bir tekstil atölyesi için dikiş makinesi seçim problemini çözmek amacıyla kullanmıştır. Özbek ve Engür (2018) EDAS yöntemini lojistik firma web sitelerinin değerlendirilmesi için uygulamıştır. Çalışmada yedi adet lojistik firmasının web siteleri 11 kritere göre değerlendirilmiştir. Stanujkic vd. (2018) EDAS yöntemini bir bilişim teknolojileri firmasının personel seçimi probleminin çözümünde kullanmıştır. Bu çalışmada personel seçiminde kullanılan kriterlerin önem dereceleri SWARA yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Ulutaş (2019) Entropi temelli EDAS yöntemi ile lojistik firmalarının performansını ölçmüştür. Kısa ve Ayçin (2019) OECD ülkelerinin lojistik performanslarının değerlendirilmesi amacıyla EDAS yöntemini uygulamıştır. Bu çalışmada lojistik performans değerlendirme kriterlerinin önem dereceleri SWARA yöntemiyle belirlenmiştir. Asante vd. (2020) yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının önündeki engelleri önem derecelerine göre sıralamak için MULTIMOORA ve EDAS yöntemlerini birlikte kullanmıştır. Burada yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının önündeki potansiyel 23 engel altı ana başlık altında değerlendirilmiştir.

Literatürde EDAS yöntemi farklı türdeki bulanık sayı kümeleri kullanılarak uygulanmıştır. Ghorabae vd. (2016), ilk defa literatürde bulanık EDAS yönetimini uygulamıştır. Bu çalışmada bir deterjan üreticisi firmanın kimyasal madde tedarik süreci ele alınarak tedarikçi seçim probleminin çözümü için bulanık EDAS yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada yapılmış olan duyarlılık analizi sonuçlarına göre bulanık EDAS yönteminin ÇKKV problemlerinin çözümünde istikrarlı sonuçlar ürettiği kanıtlanmıştır. Kahraman vd. (2017) çalışmalarında EDAS yöntemini sezgisel (intuitionistic) bulanık sayılar kullanarak geliştirmiştir. Bu çalışmada EDAS yöntemi bulanık olmayan sayılar, bulanık sayılar ve sezgisel bulanık sayılar kullanılarak üç farklı yöntem aynı problemin çözümünde uygulanarak yeni geliştirilmiş olan yöntemin geçerliliği test edilmiştir. EDAS yönteminin diğer bir çok ÇKKV yöntemine göre daha az hesaplama gerektirdiği ve bu yöntemlerle aynı sıralama sonuçları ürettiği gözlemlenmiştir. Ayrıca sezgisel bulanık EDAS yönteminin bulanık EDAS yöntemine göre biraz daha fazla karmaşık hesaplama gerektirmesi nedeniyle bu iki yöntemde farklı sıralama formülasyonunun kullanılması gerektiği ifade edilmiştir. Çalışmada katı atık imha tesislerinin yer seçimi problemi ele alınmıştır. Stevic vd. (2018) bulanık EDAS yöntemi ile apartman renovasyonunda kullanılacak olan en uygun PVC mamul üretimi yapan marangoz tedarikçisi firmayı belirlemiştir. Burada yedi alternatif PVC üreticisi firma 14 kritere göre değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda bulanık EDAS yönteminin karar vericilerin fikirlerinden kaynaklanacak subjektifliği göz önünde bulundurduğu ve grup karar süreçlerindeki belirsizliği hesaba kattığı belirtilmiştir. Yöntemde karar vericilerin fikirlerini objektif bir şekilde harmanlayarak sonuçların üretildiği gözlemlenmiştir. Feng vd. (2018) bulanık EDAS yönteminde genişletilmiş tereddütlü (hesistant) bulanık sayı setini kullanarak geliştirmiştir. Yöntem bir firmanın stratejik proje seçim probleminde uygulanarak geçerliliği test edilmiştir. Gündoğdu vd. (2018) çalışmalarında farklı birleştirme operatörleri kullanarak yeni bir tereddütlü bulanık EDAS modeli sunmuşlardır. Önerilmiş olan modelin geçerliliğini test etmek ve tereddütlü bulanık TOPSIS yöntemi ile karşılaştırmak için yöntemi organ naklinde hastane seçimi problemine uygulamışlardır. Uygulama sonuçlarında tereddütlü bulanık EDAS yönteminin tereddütlü bulanık TOPSIS yöntemi ile aynı en iyi alternatifi belirlediği gözlemlenmiştir. Bayrakdaroğlu ve Kundakcı (2019) bulanık EDAS yöntemini kullanarak AR-Ge proje seçimi problemini çözmüştür. Demircan ve Tunç (2019) aralık tip-2 bulanık EDAS yöntemini İstanbul'daki toplu taşıma otobüsü operatörlerinin hizmet düzeyini belirlemek için kullanmıştır. Mukul vd. (2019) akıllı ulaşım sistemlerinin değerlendirilmesini bulanık EDAS yöntemi ile gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada

kriter ağırlıklarının hesaplanması için bulanık AHP yönteminden yararlanılmıştır. Demirtaş vd. (2020) tedarik seçim probleminin çözümünde bulanık EDAS yöntemini uygulamıştır. Aydın ve Üstün (2020), bulanık EDAS yöntemi ile yük taşımacılığında taşıma modu seçimi problemini çözmüştür. Bu çalışmada PFS (Picture Fuzzy Sets) bulanık sayıları kullanılmıştır. Yürüyen ve Ulutaş (2020) bulanık EDAS yöntemini üçüncü parti lojistik firması seçim problemine uygulamıştır. Bu çalışmada kriter ağırlıkları bulanık AHP yöntemi ile belirlenmiştir. Çalışmada bulanık EDAS yönteminin sonuçlarının doğruluğunu test etmek amacıyla aynı problem bulanık ARAS, bulanık COPRAS ve bulanık MOORA-Oran yöntemleriyle çözülmüştür. Bulanık EDAS yöntemi diğer dört yöntemle aynı sonuçları üretmiştir. Böylece yöntemin doğruluğu kanıtlanmıştır. Polat ve Bayhan (2020) çalışmalarında bulanık EDAS yöntemi ile tedarikçi seçim problemini ele almıştır. Çalışmada farklı kriter ağırlıkları kullanılarak gerçekleştirilmiş olan duyarlılık sonucu analizine göre bulanık EDAS yöntemi istikrarlı sonuçlar üretmek her defasında aynı alternatifi en iyi olarak belirlemiştir. Bulanık EDAS yöntemi pratik ve uygulanabilir bir yöntem olarak tanımlanmıştır. Özdağoğlu vd. (2021) laboratuvarında kullanılacak kan gazı cihazının seçimi için bulanık EDAS yöntemini uygulamıştır. Bu çalışmada kriter ağırlıkları bulanık VIKOR yöntemi ile belirlenmiştir. Çalışmada bulanık EDAS yönteminin doğruluğu aynı problemin bulanık VIKOR yöntemiyle çözümlenmesiyle test edilmiştir. İki yöntem de aynı sıralama sonuçlarını ürettiği için bulanık EDAS yönteminin doğruluğu kanıtlanmıştır. Jana ve Pal (2021) genişletilmiş bipolar bulanık sayılar kullanarak EDAS yöntemini uygulamıştır. Geliştirilmiş olan yöntem bir yol inşaat firmasının proje seçim probleminin çözümünde kullanılarak yöntemin uygulanabilirliği test edilmiştir. Yılmaz ve Atan (2021) bulanık EDAS yöntemini uygulayarak en uygun hastane yer seçim problemini çözmüştür. Bu çalışmada İstanbul'da açılacak olan yeni bir hastane için en uygun yerleşim yeri 5 ana kriter ve 17 alt kriterine göre belirlenmiştir. Veskovic vd. (2020) Bulanık EDAS yöntemi ile tren yolcularının operatör seçimini incelemiştir. Kriterlerin ağırlıkları bulanık PIPRECIA yöntemi ile belirlenmiştir. Bulanık PIPRECIA yönteminin kalitatif ve kantitatif kriterleri aynı anda değerlendirebilmesi nedeniyle bu çalışmada tercih edildiği belirtilmiştir. Ayrıca farklı kriter ağırlıklarıyla gerçekleştirilmiş olan duyarlılık analizi sonuçları bulanık EDAS yönteminin tutarlı sonuçlar ürettiğini kanıtlamıştır. Çalışmada bulanık EDAS yöntemi bulanık MARCOS, bulanık SAW ve bulanık TOPSIS yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Bu uygulama sonucunda bulanık EDAS yönteminin diğer yöntemlerle aynı sonuçları ürettiği gözlemlenmiştir. Stanujkic vd. (2017) EDAS yöntemini gri sayılar kullanılarak geliştirmiştir. Çalışmada önerilmiş olan gri EDAS (EDAS-G) yöntemi bir inşaat firması için müteahhit seçim probleminin çözümü için kullanılmıştır. Yöntemin doğruluğunu test etmek amacıyla COPRAS ve MOORA yöntemleri ile sıralama sonuçları karşılaştırılmıştır. EDAS-G yöntemi diğer yöntemler ile aynı sıralama sonuçlarını ürettiği için doğruluğu kanıtlanmıştır. Huang vd. (2021) EDAS yöntemini beklenti teorisi ile geliştirmiştir. Geliştirilmiş olan yöntem bir yatırım bankasının yatırım kararlarının önceliklendirilmesinde uygulanmıştır. Aynı problem klasik EDAS yöntemi, beklenti teorisi temelli TODIM ve kümülatif beklenti temelli TODIM yöntemleri ile de çözümlenerek geliştirilmiş olan yöntemin performansı değerlendirilmiştir. Yapılan performans analizlerine göre beklenti teorisi ile geliştirilmiş olan EDAS yönteminin klasik EDAS yöntemine göre karar vericilerin irrasyonel kararlarını çözüme dahil ederek daha başarılı sonuçlar ürettiği belirlenmiştir.

Akçakanat vd. (2018) TR-61 bölgesindeki bankaların performans değerlendirmesi için CRITIC ve EDAS yöntemlerini birlikte uygulamıştır. Çalışmada banka performans değerlendirme kriterlerinin önem derecesi CRITIC yönteminin yanı sıra Modifiye Edilmiş Dijital Mantık (MDL) yöntemi ile de belirlendikten sonra her iki yöntemden elde edilen farklı önem ağırlık dereceleri EDAS yöntemi kullanılarak bankaların performans sıralamasını belirlemede kullanılmıştır. Daha sonra bu iki farklı hesaplama yöntemi sonuçları karşılaştırılmış ve her iki yöntem ile hesaplanan önem derecelerinin EDAS yöntemi ile sıralanmasının aynı olduğu gözlemlenmiştir. Kiracı ve Bakır (2019) havayolu firmalarının küresel finans krizi öncesi ve sonrasındaki performanslarını incelemek amacıyla CRITIC ve EDAS yöntemini birlikte uygulamıştır. Burada havayolu firmalarının performans ölçümünde kullanılan kriterlerin önem dereceleri CRITIC yöntemi ile belirlendikten sonra havayolu firmalarının performanslarına göre sıralanması EDAS yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Can ve Kargı (2019) sektörlerin iş sağlığı ve güvenliği açısından risk seviyelerinin belirlenmesinde CRITIC-EDAS entegrasyonunu kullanmışlardır. Sektörlerin iş sağlığı ve güvenliği risklerinin seviyelerini etkileyen faktörlerin ağırlıklarını CRITIC yöntemi ile elde etmişler; sektör sıralamasında ise EDAS metodunu kullanarak en riskli sektörleri belirlemeye çalışmışlardır. Mishra vd. (2021) sürdürülebilir üçüncü parti tersine lojistik hizmet sağlayıcı seçimi probleminin çözümü için fermatean bulanık sayı seti ile CRITIC ve EDAS yöntemlerini birlikte uygulamıştır.

Yapılmış olan literatür çalışmasına göre Türkçe literatürde 3 boyutlu yazıcı seçim problemini ele alan çok az sayıda yayın bulunmaktadır. Ayrıca bu çalışmada kullanılmış olan bulanık CRITIC ve bulanık EDAS yöntemleri bütünlük olarak ilgili problemin çözümünde Türkçe literatürde henüz çalışılmamıştır. Buna ilaveten uluslararası literatürde bulanık CRITIC ve bulanık EDAS yöntemlerinin birlikte 3 boyutlu yazıcı seçim probleminin çözümü için daha önce kullanılmamış olduğu tespit edilmiştir.

3. Metodoloji

Bu çalışmada ÇKKV yöntemleri olan bulanık CRITIC ve bulanık EDAS yöntemleri kullanılmıştır. Yöntemler aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

A. Bulanık Mantık

İlk olarak Zadeh (1965) tarafından geliştirilmiş olan bulanık mantık kişisel düşüncelerin sözel ifadeler ile değerlendirilmesine dayanmaktadır. Bu özelliği sayesinde bulanık mantık, karar vericilerin gerçek hayattaki kesinlik içermeyen durumları problemin

çözümüne daha iyi yansıtmasına yardımcı olmaktadır. Kesin mantık ile ifade edilmesi mümkün olmayan durumlara ilişkin gerçek hayat problemlerinin çözümünde bulanık mantık daha etkili sonuçlar üretmektedir (Bayraktaroğlu ve Kundakci, 2019).

Literatürde genellikle hesaplama kolaylığı nedeniyle üçgensel (triangular) ve yamuksal (trapezoidal) bulanık sayılar kullanılmaktadır (Liu vd.,2020). Bu çalışmada üçgensel bulanık sayılar kullanılarak yöntemler uygulanmıştır. Eş.1 'de $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ üçgensel bulanık sayısının üyelik fonksiyonu açıklanmıştır (Bayraktaroğlu ve Kundakci, 2019).

$$\mu(x/\tilde{M}) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2, \\ \frac{a_3-x}{a_3-a_2}, & a_2 \leq x \leq a_3, \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (1)$$

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ ve $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$ iki pozitif üçgensel bulanık sayı ve k pozitif bulanık olmayan tam sayı olmak üzere bu sayılar arasındaki aritmetik işlemler aşağıdaki gibi gerçekleştirilmektedir (Ghorabae vd., 2016; Bayraktaroğlu ve Kundakci, 2019; Kahraman vd., 2003):

- Toplama işlemi:

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad (2)$$

$$\tilde{A} \oplus k(a_1 + k, a_2 + k, a_3 + k) \quad (3)$$

- Çıkartma işlemi:

$$\tilde{A} \ominus \tilde{B} = (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1) \quad (4)$$

$$\tilde{A} \ominus \tilde{B} = (a_1 - k, a_2 - k, a_3 - k) \quad (5)$$

- Çarpma işlemi:

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = (a_1 \times b_1, a_2 \times b_2, a_3 \times b_3) \quad (6)$$

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = (a_1 \times k, a_2 \times k, a_3 \times k) \quad (7)$$

- Bölme işlemi:

$$\tilde{A} \oslash \tilde{B} = (a_1/b_1, a_2/b_2, a_3/b_3) \quad (8)$$

$$\tilde{A} \oslash \tilde{B} = (a_1/k, a_2/k, a_3/k) \text{ eğer } k > 0 \quad (9)$$

$$\tilde{A} \oslash \tilde{B} = (a_3/k, a_2/k, a_1/k) \text{ eğer } k < 0 \quad (10)$$

• $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ üçgensel bulanık sayı olmak üzere \tilde{A} bulanık sayısının durulaştırılmış değeri Eş.11 ile hesaplanır (Bai ve Wang, 2006).

$$\kappa(\tilde{A}) = \frac{1}{3}(a_1 + a_2 + a_3) \quad (11)$$

• \tilde{A} bulanık sayısı ile sıfır arasındaki maksimum değer hesaplanabilmesi için Eş. 12 'de açıklanmış olan ψ fonksiyonu aşağıdaki gibidir (Ghorabae vd., 2016).

$$\psi(\tilde{A}) \begin{cases} (\tilde{A}), \kappa(\tilde{A}) > 0 \\ 0, \kappa(\tilde{A}) \leq 0 \end{cases} \quad (12)$$

B. Bulanık Critic Yöntemi

CRITIC yöntemi, kriterler için objektif ağırlıklar belirleyen ağırlıklandırma yöntemlerinden biridir. İlk olarak 1995'te Diakoulaki ve arkadaşları tarafından önerilmiştir (Huang vd., 2021; Diakoulaki vd., 1995). ÇKKV problemlerinde, karar vericinin ihtiyaç duyduğu kriter önem bilgisini sağlamaktadır. CRITIC yaklaşımı, değerlendirme kriterlerinde yer alan tüm bilgilerin çıkarılması için değerlendirme matrisinin analitik incelemesine dayanmaktadır. Bu yöntem, karar verme probleminin yapısındaki karşılığın ve çatışmanın yoğunluğunu içerir (Diakoulaki vd., 1995). Kriterler arasındaki zıtlıkları hesaplamak için korelasyon analizini kullanır.

Bulanık CRITIC yöntemi, CRITIC yönteminin bulanık ortamda uygulanmış biçimidir. Gerçek hayatta karşılaştığımız karar problemlerinin birçoğu belirsiz ve göreceli durumlar içerdiği için çözüme ulaştırmada güçlükler yaşanmaktadır. Klasik yaklaşımlar, bilginin tam ve kesin olmadığı karmaşık karar problemleri için yetersiz kalmakta ve problemler doğru bir şekilde modellenememektedir. Bu çalışmada kullanılan yöntemlerin bulanık küme teorisi ile genişletilmesinin amacı, gerçek hayat problemlerindeki belirsizliklerin doğru bir şekilde tanımlanarak problemlerin daha doğru çözüme ulaştırılmasını sağlamaktır.

Bulanık CRITIC yönteminin uygulama adımları aşağıdaki şekilde uygulanmaktadır (Ghorabae vd., 2018; Rostamzadeh vd., 2018):

$\tilde{x}_{ij} = (x_{ij1}, x_{ij2}, x_{ij3})$ karar vericilerin j . ($j=1,2,\dots,m$) kritere göre i . ($i=1,2,\dots,n$) alternatif için belirlediği bulanık performans değerini göstermektedir. $\tilde{w}_j^0 = (w_{j1}^0, w_{j2}^0, w_{j3}^0)$ j . kritere ait bulanık objektif ağırlıkları temsil etmektedir. N maliyet kriteri kümesi ve B ise fayda kriteri kümesidir.

1. Aşama: Performans değerlerinin dönüşümleri Eş. 13'deki formül ile hesaplanır ve kriter vektörleri Eş. 14'deki gibi gösterilir:

$$x_{ijk}^T = \begin{cases} \frac{x_{ijk} - x_{jk}^-}{x_{jk}^* - x_{jk}^-} & \text{eğer } j \in B \\ \frac{x_{jk} - x_{ijk}}{x_{jk} - x_{jk}^*} & \text{eğer } j \in N \end{cases} \quad (13)$$

$$x_{jk} = (x_{1jk}^T, x_{2jk}^T, \dots, x_{njk}^T) \quad (14)$$

$x_{ijk}^T, \tilde{x}_{ij}$ 'nin k . ($k=1,2,3$) elemanının dönüştürülmüş değeridir. x_{jk} j . kriterinin k . vektörünü göstermektedir. x_{jk}^* ve x_{jk}^- , x_{ij} nin k . elemanına ve j . kriterine göre ideal ve ideal olmayan değerleridir. Eğer, $j \in B$ ise $x_{jk}^* = \max_i x_{ijk}$ ve $x_{jk}^- = \min_i x_{ijk}$ ve eğer eğer $j \in N$ ise $x_{jk}^* = \min_i x_{ijk}$ ve $x_{jk}^- = \max_i x_{ijk}$.

2. Aşama: Her vektör için standart sapma (σ_{jk}) Eş. 15 ile hesaplanır .

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_{ijk}^T - x_{jk}^-}{n}}, \quad \text{Burada; } x_{jk}^- = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ijk}^T}{n} \quad (15)$$

3. Aşama: Genel öğeleri $r_{jj'}^k = (j' = 1, 2, \dots, m \text{ ve } k=1,2,3)$ olan $m \times m$ boyutunda 3 simetrik matris oluşturulur. Bu matrislerin elemanları, x_{jk} ve $x_{j'k}$ vektörleri arasındaki doğrusal korelasyon katsayısıdır. Eğer x_{jk} veya $x_{j'k}$ vektörlerinin tüm elemanları aynı ise korelasyon olmadığını söyleyebiliriz. Bu durumda $r_{jj'}^k = 0$ olur.

4. Aşama: Her bir kriterin bilgi ölçüsü Eş. 16'de belirtilen formül ile hesaplanır.

$$H_{jk} = \sigma_{jk} \sum_{j'=1}^m (1 - r_{jj'}^k) \quad (16)$$

5. Aşama: Sıralanmamış objektif ağırlıklar Eş. 17'de verilen formül ile hesaplanır.

$$w_{jk}^u = \frac{H_{jk}}{\sum_{j=1}^m H_{jj'}} \quad (17)$$

6. Aşama: Her kritere ait başlangıç bulanık objektif ağırlık değerleri Eş. 18, Eş. 19 ve Eş. 20 ile belirlenir.

$$w_{j3}^{oi} = \max_k w_{jk}^u \quad (18)$$

$$w_{j2}^{oi} = \max_{k, w_{jk}^u \neq w_{j3}^{oi}} w_{jk}^u \quad (19)$$

$$w_{j1}^{oi} = \min_k w_{jk}^u \quad (20)$$

C. Bulanık Edas Yöntemi

EDAS yöntemi alternatiflerin ortalama çözüm uzaklığına göre değerlendirilerek sıralanmasını sağlayan bir ÇKKV yöntemidir. Bu hesaplama yapısı nedeniyle diğer çok bilinen ÇKKV yöntemleri olan TOPSIS ve VIKOR yöntemlerine benzemektedir (Gündoğdu vd., 2018). EDAS yöntemi, 2015 yılında Ghorabae vd. (2015) tarafından geliştirilmiş olan yeni bir ÇKKV yöntemidir. Yöntemin kolay uygulanabilir olması ve ağır matematiksel işlemler gerektirmemesi karar vericiler tarafından tercih edilmesini sağlamaktadır.

$A = A_1, A_2, \dots, A_n$ n adet alternatifin bulunduğu küme, $C = C_1, C_2, 0, \dots, C_m$ m adet kriterden oluşan bir küme ve $D = D_1, D_2, \dots, D_k$ k adet karar vericiden oluşan bir kümeyi ifade etmektedir. Bulanık EDAS yönteminin uygulama aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Ghorabae vd., 2016; Yürüyen ve Ulutaş, 2020):

1. Aşama: Karar vericilerin alternatifler için belirlemiş olduğu performans değerleri ile bütünleştirilmiş bulanık karar matrisi (\tilde{X}) oluşturulur:

$$\tilde{X} = [\tilde{x}_{ij}]_{n \times m} \quad (21)$$

$$x_{ij} = (\prod_{p=1}^k \tilde{x}_{ij}^p)^{1/d} \quad (22)$$

\tilde{x}_{ij}^p değeri, p karar vericisinin ($1 \leq p \leq d$), A_i ($1 \leq i \leq n$) alternatifini C_j ($1 \leq j \leq m$) kriterine göre belirlediği performans değerini ifade etmektedir. Buna göre Eş. 22 kullanılarak her bir alternatif için ilgili kriterlere göre her bir karar verici tarafından tayin edilen performans değerlerinin geometrik ortalaması alınarak bütünleştirilmiş bulanık karar matrisi oluşturulur.

2. Aşama: Ortalama çözüm matrisi (AV) Eş. 23 ve 24 kullanılarak hesaplanır:

$$AV = [\tilde{av}_j]_{1 \times m} \quad (23)$$

$$\tilde{av}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tilde{x}_{ij} \quad (24)$$

Burada (\tilde{av}_j) her bir kriter için alternatiflerin ortalama çözüm değerini ifade etmektedir.

3. Aşama: B kümesi faydalı kriterler kümesini ve N kümesi maliyet kriterler kümesini ifade etmektedir. Bu aşamada ortalama pozitif uzaklık matrisi (PDA) ve ortalama negatif uzaklık matrisi (NDA) kriter türüne (fayda veya maliyet) göre hesaplanır. $\kappa(\tilde{A})$ ve ψ değerlerinin hesaplanması Eş. 11 ve Eş. 12'de açıklanmıştır.

$$PDA = [p\tilde{da}_{ij}]_{m \times n} \quad (25)$$

$$NDA = [n\tilde{da}_{ij}]_{m \times n} \quad (26)$$

$$p\tilde{da}_{ij} \begin{cases} \frac{\psi(\tilde{x}_{ij} - \tilde{av}_j)}{\kappa(\tilde{av}_j)} & \text{eğer } j \in B \\ \frac{\psi(\tilde{av}_j - \tilde{x}_{ij})}{\kappa(\tilde{av}_j)} & \text{eğer } j \in N \end{cases} \quad (27)$$

$$n\tilde{da}_{ij} \begin{cases} \frac{\psi(\tilde{av}_j - \tilde{x}_{ij})}{\kappa(\tilde{av}_j)} & \text{eğer } j \in B \\ \frac{\psi(\tilde{x}_{ij} - \tilde{av}_j)}{\kappa(\tilde{av}_j)} & \text{eğer } j \in N \end{cases} \quad (28)$$

Eş. 27 ve 28 'de açıklanan $p\tilde{da}_{ij}$ ve $n\tilde{da}_{ij}$ değerleri j. alternatifin i. kriter için ortalama çözüm değerlerinden pozitif ve negatif uzaklık performans değerlerini ifade etmektedir.

4. Aşama: Pozitif ve negatif uzaklık değerleri kriter önem ağırlık değerleri ile çarpılıp toplanarak her alternatif için ağırlıklandırılmış pozitif ve negatif uzaklıklar Eş. 29 ve 30 yardımıyla hesaplanır.

$$\tilde{s}p_i = \sum_{j=1}^m (\tilde{w}_j * p\tilde{da}_{ij}) \quad (29)$$

$$\tilde{s}n_i = \sum_{j=1}^m (\tilde{w}_j * n\tilde{da}_{ij}) \quad (30)$$

5. Aşama: Tüm alternatifler için \widetilde{sp}_i ve \widetilde{sn}_i değerleri Eş. 31 ve 32 kullanılarak normalize edilir.

$$\widetilde{ns\overline{p}}_i = \frac{\widetilde{sp}_i}{\max_i(\kappa(\widetilde{sp}_i))} \quad (31)$$

$$\widetilde{ns\overline{n}}_i = 1 - \frac{\widetilde{sn}_i}{\max_i(\kappa(\widetilde{sn}_i))} \quad (32)$$

6. Aşama: Eş. 33 kullanılarak tüm alternatifler için değerlendirme skoru (\widetilde{as}_j) hesaplanır.

$$\widetilde{as}_j = \frac{1}{2}(\widetilde{ns\overline{p}}_i + \widetilde{ns\overline{n}}_i) \quad (33)$$

7. Aşama: Alternatifler değerlendirme skoruna (\widetilde{as}_j) göre büyükten küçüğe sıralanır. Değerlendirme skoru en büyük olan alternatif en iyi olarak belirlenir.

4. Uygulama

Günümüzde 3 boyutlu yazıcıların fiyatlarının ucuzlaması ve yaygınlaşmasıyla birlikte bu yazıcıların KOBİ'lerde prototip üretimi, ürün üretimi gibi amaçlarla kullanımı yaygınlaşmıştır. 3 boyutlu yazıcılar farklı sektörlerde çeşitli amaçlarla kullanılabilir. Mobilya sektöründe parça montajı gerektirmeyen ürünlerin tümünün 3 boyutlu yazıcılar ile üretilmesi mümkün hale gelmiştir. Mobilya üretimini geleneksel olarak gerçekleştiren firmalar ise hızlı bir şekilde prototip hazırlama amacıyla 3 boyutlu yazıcılardan faydalanabilmektedir. Ayrıca mobilya sektöründeki ürün çeşidinin yüksek olması ve modellerin sıklıkla değişmesi gibi dezavantajların etkileri 3 boyutlu yazıcılar sayesinde azaltılabilmektedir.

Bu bölümde Kayseri ilinde faaliyet gösteren plastik mobilya aksamı üreten bir firmada 3 boyutlu yazıcı seçim karar süreci ele alınmıştır. Firma prototip ürün üretiminde maliyet ve zaman avantajı elde edebilmek için geleneksel yöntemlerin yerine 3 boyutlu yazıcı kullanma kararı almıştır. 3 boyutlu yazıcı seçim problemi çok sayıda alternatif modelin bir kriter setine göre değerlendirilmesini amaçladığı için bu problem klasik bir ÇKKV problemi olarak ele alınmıştır. Bu amaçla firmanın prototip üretimindeki ihtiyaçlarını en iyi düzeyde karşılayacak 3 boyutlu yazıcının seçimi için bulanık CRITIC ve bulanık EDAS yöntemlerinden oluşan bütünleşik bir ÇKKV yöntemi uygulanmıştır. Çalışmanın karar verici grubu iki adet firma yetkilisi ve bir akademisyen olmak üzere üç kişiden oluşmaktadır. Yetkililerden biri plastik enjeksiyon sektöründe çeşitli aşamalarda uzman ve yönetici seviyelerinde çalışmış fabrika müdürüdür. Diğer firma yetkilisi 10 yıldır aynı fabrikada çalışan ve imalat teknolojileri konusunda araştırmaları olan üretim yöneticisidir. Çalışmaya katkıda bulunan akademisyen endüstri mühendisliği alanında uzmanlaşmış, üretim teknolojileri ve karar verme üzerine çalışan bir öğretim üyesidir. İlk aşamada en uygun yazıcının seçiminde etkili olan kriter seti literatürdeki çalışmalar incelenerek ve karar verici grubun da fikirleri değerlendirilerek oluşturulmuştur. Bu çalışmanın sonucunda 3 boyutlu yazıcı seçiminde önemli olabilecek 23 alt kriter belirlenmiştir. Bu kriterler teknik, performans, ekonomi ve çevre olmak üzere 4 ana kriter grubu altında düzenlenmiştir. Tablo 1'de bu kriterler ve tanımları gösterilmiştir. Firma yetkilileri prototip üretimi için uygun olabilecek dört alternatif 3 boyutlu yazıcı modeli belirlemiştir. Bunlar; Flashforge Creator 3 (A1), Zortrax M200 Plus (A2), Ultimaker 2 +connect (A3) ve Zaxe Z1 (A4)'dir.

Tablo 1. 3 boyutlu yazıcı değerlendirme kriterleri ve tanımları

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Tanım	Referans
Teknik Özellikler	Kullanım kolaylığı	Cihazın kolay bir şekilde kurulumu ve kullanılabilirliği	(Çetinkaya vd., 2017; Ransikarbun ve Khamhong, 2021; Zagidullin vd., 2021)
	Otomatik Kalibrasyon	Cihazın teknik ayarlarının otomatik olarak cihaz tarafından yapılması	(Çetinkaya vd., 2017)
	Çoklu Ekstrüder	Cihazın birden fazla baskı kafasının bulunması	(Prabhu ve Ilangkumaran, 2019; Çetinkaya vd., 2017)
	Filament Kalınlığı	Cihazda kullanılan üretim maddesinin mm cinsinden kalınlığı	(Mançanares vd., 2015; Çetinkaya vd., 2017; Rakhade, 2021; Zagidullin vd., 2021)
	Wi-Fi Bağlantısı	Cihazın kablosuz internete bağlanabilme özelliği	(Çetinkaya vd., 2017)
	Ekipman koruması	Kapalı kabin özelliği	(Çetinkaya vd., 2017)
	Tek tip filament kullanım zorunluluğu	Cihazın bir çeşit filament kullanıma izin vermesi	(Çetinkaya vd., 2017)
	Ağırlık	Cihazın kilogram cinsinden ağırlığı	(Mançanares vd., 2015; Çetinkaya vd., 2017; Rakhade, 2021)

Tablo 1. Devamı

Performans	Baskı Hacmi	Cihazın maksimum yazdırma alanı	(Khamhong vd., 2019; Roberson vd., 2013; Maçanares vd., 2015; Chen ve Wu, 2021; Prabhu ve Ilangkumaran, 2019; Çetinkaya vd., 2017; Ransikarbum ve Khamhong, 2021)
	Baskı Hızı	Cihazın bir saatte mm cinsinden bastığı alan	(Roberson vd., 2013; Maçanares vd., 2015; Prabhu ve Ilangkumaran, 2019; Ransikarbum ve Khamhong, 2021; Zagidullin vd., 2021)
	Hazırlık süresi	Cihazın üretime başlayabilmesi için gereken süre	(Çetinkaya vd., 2017)
	Yüzey düzgünlüğü	Cihazın bastığı bitmiş ürünün yüzey kalitesi	(Khamhong vd., 2019; Roberson vd., 2013; Ransikarbum ve Khamhong, 2021)
	Parça düzgünlüğü	Cihazın bastığı bitmiş ürünün şekil kalitesi	(Zagidullin vd., 2021)
	Modelleme hassasiyeti	Cihazın modele uygun üretim yapabilme yeteneği	(Khamhong vd., 2019; Ransikarbum ve Khamhong, 2021)
	Baskı hassasiyeti	Cihazın belirlenen ölçülere uygun üretim yapabilme yeteneği	(Maçanares vd., 2015)
	Katman çözünürlüğü	Cihazın bastığı her bir katmanın mikron cinsinden değeri	(Roberson vd., 2013)
	Stabil çalışma durumu	Cihazın sorunsuz ve kararlı bir şekilde üretim yapabilme yeteneği	(Zagidullin vd., 2021)
Ekonomi	Fiyat	Cihazın parasal değeri	(Khamhong vd., 2019; Roberson vd., 2013; Maçanares vd., 2015; Ransikarbum ve Khamhong, 2021; Chen ve Wu, 2021; Prabhu ve Ilangkumaran, 2019), (Rakhade, 2021)
	Parça ve bakım maliyeti	Cihazın yedek parça ve bakım giderleri	(Khamhong vd., 2019; Zagidullin vd., 2021)
	Enerji Tüketimi	Cihazın watt cinsinden bir saatte kullandığı enerji miktarı	(Maçanares vd., 2015; Çetinkaya vd., 2017; Rakhade, 2021)
Çevre	Ses emisyonu	Cihazın çalışırken dışarıya verdiği gürültü seviyesi	(Çetinkaya vd., 2017)
	Karbon emisyonu	Cihazın çalışırken dışarıya verdiği karbon miktarı	(Çetinkaya vd., 2017)
	Atık miktarı	Cihazın çalışırken dışarıya verdiği atık madde miktarı	(Roberson vd., 2013; Çetinkaya vd., 2017)

Tablo 1’de gösterilmiş olan kriter seti karar verici grup tarafından firmanın 3 boyutlu yazıcı seçim kararı üzerindeki ilgi ve etki düzeyi açısından değerlendirilmiştir. Bu ilk değerlendirme sonucunda alternatiflerin tümünde bulunan ve bir karar faktörü olmayan wi-fi bağlantısı, ekipman koruması ve tek tip filament kullanım zorunluluğu kriter setinden çıkartılmıştır. Bunun üzerine firmanın 3 boyutlu yazıcı seçiminde kullanılmak üzere belirlenen nihai kriter seti Tablo 2’deki gibi oluşturulmuştur.

Bir sonraki adımda karar vericilerin Tablo 3’deki sözel değerlendirme ölçeği (Feng vd., 2018; Yürüyen ve Ulutaş, 2020) ile her bir alternatifi ilgili kritere göre değerlendirerek oluşturduğu karar matrisi Tablo 4’de gösterilmiştir.

3 boyutlu yazıcı seçiminde etkili olan kriterlerinin objektif önem ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla öncelikle Tablo 4’deki sözel değerlendirmeler Tablo 1 ‘deki bulanık üçgensel sayı karşılıklarına çevrilmiş ve daha sonra Eş. 22 kullanılarak ortalama bulanık karar matrisi elde edilmiştir. Tablo 5’de ortalama bulanık karar matrisi gösterilmiştir. Tablo 5, bulanık CRITIC ve bulanık EDAS yöntemlerinin karar matrisi olarak kullanılmıştır.

Tablo 2. 3 Boyutlu yazıcı değerlendirme kriteri seti

Ana Kriterler	Alt Kriterler
Teknik Kriterler	Kullanım kolaylığı (K1)
	Otomatik Kalibrasyon (K2)
	Çoklu Ekstrüder (K3)
	Filament Kalınlığı (K4)
	Ağırlık (K5)
Performans	Baskı Hacmi (K6)
	Baskı Hızı (K7)
	Hazırlık süresi (K8)
	Yüzey düzgünlüğü (K9)
	Parça düzgünlüğü (K10)
	Modelleme hassasiyeti (K11)
	Baskı hassasiyeti (K12)
	Katman çözünürlüğü (K13)
Stabil çalışma durumu (K14)	
Ekonomi	Fiyat (K15)
	Parça ve bakım maliyeti (K16)
	Enerji Tüketimi (K17)
Çevre	Ses emisyonu (K18)
	Karbon emisyonu (K19)
	Atık miktarı (K20)

Tablo 3. Sözel ifadeler ve Üçgen Bulanık Sayı Ölçeği

Sözel ifade	Üçgen Bulanık Sayı
Çok yüksek (ÇY)	(7,9,9)
Yüksek (Y)	(5,7,9)
Orta (O)	(3,5,7)
Düşük (D)	(1,3,5)
Çok Düşük (ÇD)	(1,3,3)

3 boyutlu yazıcı seçiminde etkili olan kriterlerin bulanık önem ağırlık değerleri bulanık CRITIC yönteminin çözüm adımları uygulanarak hesaplanmıştır. Burada K5, K8, K15, K16, K17, K18, K19 ve K20 kriterleri maliyet kriteri (N) ve diğer kriterler fayda kriteri (B) olarak ele alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Buna göre, ilk olarak Eş. 13 yardımı ile kriterlerin performans değerlerinin dönüşümleri gerçekleştirilmiş ve dönüştürülmüş değerler Eş. 14'deki gibi vektör haline getirilmiştir. Daha sonra değerlerin standart sapmaları hesaplanarak ikinci adım uygulanmıştır. Üçüncü adımda kriterlerin arasındaki korelasyon değerlerinin hesaplanmasıyla korelasyon matrisi oluşturulmuştur. Bu aşamadan sonra ikinci ve üçüncü aşamalarda hesaplanan değerler kullanılarak Eş. 16 yardımıyla her bir kriterin bilgi ölçüsü hesaplanmıştır. Beşinci aşamada, kriterlerin sıralanmamış objektif ağırlık değerleri Eş. 17 ile hesaplanmış ve daha sonra Eş. (18-20) kullanılarak kriterlerin başlangıç bulanık objektif ağırlık değerleri belirlenmiştir. Başlangıç bulanık objektif ağırlık değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Kriterlerin durulaştırılmış ağırlık değerleri Eş. 11 kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 6'da gösterilmiştir. Buna göre 3 boyutlu yazıcı seçiminde en önemli ağırlığa sahip olan üç kriter sırasıyla K20, K18 ve K19 olarak belirlenmiştir.

3 boyutlu yazıcı seçiminde etkili olan kriterlerin önem dereceleri belirlendikten sonra firma tarafından belirlenmiş olan alternatif 3 boyutlu yazıcı modellerinin sıralaması bulanık EDAS yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Burada ilk aşamada Tablo 5'deki ortalama karar matrisi kullanılarak Eş. 22 yardımıyla bulanık ortalama çözüm değerleri (av_j) hesaplanmıştır. Bu değerler Tablo 5'de gösterilmiştir. Bu aşamadan sonra ortalamaya pozitif uzaklık matrisi (PDA) ve ortalamaya negatif uzaklık matrisi (NDA) kriter türüne (fayda veya maliyet) uygun olarak Eş. 27 ve Eş. 28 kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 7 ve Tablo 8'de sırasıyla tüm alternatifler için pozitif uzaklık (PDA) ve negatif uzaklık (NDA) değerleri gösterilmiştir. Bu tablolardaki hesaplamalar yapılırken üçgensel bulanık sayı ile sıfır arasındaki maksimum değer bulunabilmesi için Eş.12'den faydalanılmıştır.

Alternatiflerin ağırlıklandırılmış toplam pozitif ve negatif uzaklık değerlerinin hesaplanabilmesi için Eş. 30 ve Eş. 31'den faydalanılmıştır. Daha sonra Eş.32 ve Eş.33 kullanılarak bu değerler normalize edilmiştir. Normalize edilmiş olan değerler kullanılarak tüm alternatifler için bulanık değerlendirme skoru ($\bar{a}s_j$) Eş.34 ile hesaplanmış ve tüm bu değerler Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 4. Alternatiflerin Kriterlere Göre Sözel Değişkenler ile Değerlendirilmesi

Kriter	A1			A2			A3			A4		
	KV1	KV2	KV3	KV1	KV2	KV3	KV1	KV2	KV3	KV1	KV2	KV3
K1	Y	ÇY	ÇY	Y	Y	Y	Y	Y	Y	O	O	Y
K2	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	O	Y
K3	ÇY	ÇY	ÇY	ÇD	ÇD	ÇD	ÇY	ÇY	ÇY	ÇD	O	ÇY
K4	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	ÇY	ÇY	ÇD	Y	Y
K5	D	ÇD	D	Y	D	D	ÇY	ÇY	ÇY	D	Y	Y
K6	ÇY	ÇY	ÇY	Y	O	O	O	Y	Y	O	O	O
K7	D	O	O	Y	Y	Y	O	Y	Y	D	D	D
K8	O	O	O	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	ÇY	ÇY
K9	ÇY	ÇY	Y	Y	Y	Y	O	O	O	O	O	D
K10	Y	ÇY	ÇY	Y	Y	Y	O	O	Y	O	O	O
K11	ÇY	ÇY	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	O
K12	Y	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	Y	Y	Y	Y	Y	Y
K13	ÇY	ÇY	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	O	O	O
K14	Y	Y	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	Y	Y	Y	Y	Y	Y
K15	O	Y	Y	D	O	O	ÇD	D	D	ÇY	ÇY	ÇY
K16	O	O	Y	O	O	D	ÇY	D	Y	ÇY	ÇY	Y
K17	D	ÇD	O	O	O	Y	O	O	Y	ÇY	ÇY	ÇY
K18	O	O	O	O	O	O	ÇY	ÇY	ÇY	D	D	D
K19	Y	Y	Y	ÇY	ÇY	ÇY	O	O	O	Y	Y	Y
K20	ÇY	ÇY	Y	ÇY	ÇY	Y	ÇY	ÇY	ÇY	Y	Y	O

Tablo 5. Ortalama Bulanık Karar Matrisi

Kriterler	Alternatif 3 Boyutlu Yazıcı Modelleri				
	A1	A2	A3	A4	Ortalama (AV)
K1	(6,26;8,28;9,00)	(5; 7; 9)	(5; 7; 9)	(3,56; 5,59; 7,61)	(4,95; 6,67;8,65)
K2	(7; 9; 9)	(7; 9; 9)	(7; 9; 9)	(4,72; 6,80; 8,28)	(6,43; 8,45; 8,82)
K3	(7; 9; 9)	(1; 3; 3)	(7; 9; 9)	(2,76; 5,13; 6,80)	(4,44; 6,53; 6,95)
K4	(5; 7; 9)	(5; 7; 9)	(6,26; 8,28;9,00)	(2,92; 5,28; 7,40)	(4,80; 6,89; 8,60)
K5	(1; 3; 3,56)	(1,71; 3,98; 6,08)	(7; 9; 9)	(2,92; 5,28; 7,40)	(3,16; 5,31; 6,51)
K6	(7; 9; 9)	(3,98; 5,00; 7,61)	(4,22; 6,26; 8,28)	(3; 5; 7)	(4,55; 6,31;7,97)
K7	(2,08;4,22;6,26)	(5; 7; 9)	(4,22; 6,26; 8,28)	(1; 3; 5)	(3,07; 5,12; 7,13)
K8	(3; 5; 7)	(5; 7; 9)	(5; 7; 9)	(6,26; 8,28; 9,00)	(4,81; 6,82; 8,50)
K9	(6,26;8,28;9,00)	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)	(2,08; 4,22;6,26)	(4,08; 6,12; 7,81)
K10	(6,26;8,28;9,00)	(5; 7; 9)	(3,56; 5,59;7,61)	(3; 5; 7)	(4,45; 6,47; 8,15)
K11	(6,26;8,28;9,00)	(5; 7; 9)	(5; 7; 9)	(4,22; 6,26; 8,28)	(5,12; 7,13; 8,82)
K12	(6,26;8,28;9,00)	(7; 9; 9)	(5; 7; 9)	(5; 7; 9)	(5,81; 7,82; 9,00)
K13	(6,26;8,28;9,00)	(5; 7; 9)	(5; 7; 9)	(3; 5; 7)	(4,81; 6,82; 8,50)
K14	(5,59; 7,61;9)	(7; 9; 9)	(5; 7; 9)	(5; 7; 9)	(5,65; 7,65; 9,00)
K15	(4,22;6,26; 8,28)	(2,08; 4,22; 6,26)	(1; 3; 4,22)	(7; 9; 9)	(3,57; 5,62; 6,94)
K16	(3,56;5,59; 7,61)	(2,08; 4,22; 6,26)	(3,27; 5,74; 7,40)	(6,26;8,28;9,00)	(3,79; 5,96; 7,57)
K17	(1,44;3,56; 5,59)	(3,56; 5,59; 7,61)	(3,56; 5,59; 7,61)	(6,26;8,28;9,00)	(3,70; 5,76; 7,45)
K18	(3; 5; 7)	(3; 5; 7)	(7; 9; 9)	(1; 3; 5)	(3,50; 5,50; 7,00)
K19	(5; 7; 9)	(7; 9; 9)	(3; 5; 7)	(5; 7; 9)	(5 ;7; 8,50)
K20	(6,26;8,28;9,00)	(6,26; 8,28; 9,00)	(7; 9; 9)	(4,22; 6,26; 8,28)	(5,93; 7,95; 8,82)

Son aşamada her bir alternatif için durulaştırılmış değerlendirme skorları K(asj) Eş. 11 yardımıyla hesaplanmış ve Tablo 9'da gösterilmiştir. Yapılmış olan hesaplamalara göre 3 boyutlu yazıcılar arasındaki sıralama $A1 > A2 > A3 > A4$ şeklinde olmuştur. Buna göre alternatif 3 boyutlu yazıcılar arasındaki A1 (Flashforge Creator 3) firma için en uygun alternatif olarak belirlenmiştir.

Tablo 6. Bulanık Kriter Ağırlıkları

Kriterler	Bulanık Ağırlık Değerleri	Durulaştırılmış Ağırlık Değerleri
K1	(0,029; 0,031;0,043)	0,034
K2	(0,039; 0,042;0,043)	0,041
K3	(0,063;0,068;0,071)	0,067
K4	(0,043;0,043;0,045)	0,043
K5	(0,037;0,040;0,043)	0,040
K6	(0,052;0,053;0,060)	0,055
K7	(0,052;0,057;0,081)	0,063
K8	(0,038;0,039;0,042)	0,040
K9	(0,031;0,033;0,038)	0,034
K10	(0,052;0,055;0,059)	0,055
K11	(0,033;0,034;0,059)	0,042
K12	(0,035;0,038;0,49)	0,041
K13	(0,036;0,037;0,48)	0,040
K14	(0,033;0,035;0,43)	0,037
K15	(0;0,050;0,50)	0,033
K16	(0,031;0,033;0,43)	0,036
K17	(0; 0,056; 0,057)	0,038
K18	(0,076;0,083;0,088)	0,082
K19	(0,070;0,073;0,077)	0,073
K20	(0,095;0,103;0,118)	0,105

Tablo 7. Tüm Alternatifler için Ortalamaya Pozitif Uzaklık (PDA) Değerleri

Kriterler	Alternatif 3 Boyutlu Yazıcı Modelleri			
	A1	A2	A3	A4
K1	(-0,01;0,01; 0,03)	(-0,02; 0,00; 0,03)	(-0,02; 0,00; 0,03)	(0,00; 0,00; 0,00)
K2	(-0,01; 0,00; 0,01)	(-0,01; 0,00; 0,01)	(-0,01; 0,00; 0,01)	(0,00; 0,00; 0,00)
K3	(0,00; 0,03; 0,05)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,03; 0,05)	(0,00; 0,00; 0,00)
K4	(-0,02; 0,00; 0,03)	(-0,02; 0,00; 0,03)	(-0,01; 0,01; 0,03)	(0,00; 0,00; 0,00)
K5	(-0,01; 0,02; 0,03)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)
K6	(0,00; 0,02; 0,07)	(-0,03; 0,01; 0,06)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)
K7	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,03; 0,01; 0,07)	(-0,01; 0,03; 0,09)	(0,00; 0,00; 0,00)
K8	(-0,03; 0,00; 0,03)	(-0,02; 0,01; 0,04)	(-0,02; 0,00; 0,03)	(0,00; 0,00; 0,00)
K9	(-0,01; 0,01; 0,04)	(-0,02; 0,00; 0,03)	(-0,02; 0,00; 0,03)	(0,00; 0,00; 0,00)
K10	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,02; 0,02; 0,07)	(-0,03; 0,01; 0,06)	(0,00; 0,00; 0,00)
K11	(-0,01; 0,01; 0,05)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,02; 0,00; 0,03)	(0,00; 0,00; 0,00)
K12	(-0,01; 0,01; 0,04)	(-0,02; 0,01; 0,04)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)
K13	(-0,01; 0,01; 0,03)	(-0,02; 0,00; 0,03)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)
K14	(-0,01; 0,01; 0,02)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)
K15	(0,00; 0,00; 0,02)	(0,00; 0,01; 0,02)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)
K16	(-0,01; 0,01; 0,03)	(-0,02; 0,00; 0,03)	(-0,02; 0,00; 0,03)	(0,00; 0,00; 0,00)
K17	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,01; 0,03)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)
K18	(-0,05; 0,01; 0,07)	(-0,05; -0,01; 0,07)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,02; 0,03; 0,08)
K19	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,02;0,02;0,06)	(0,00; 0,00; 0,00)
K20	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,04; -0,01; 0,03)	(-0,03; 0,03; 0,08)

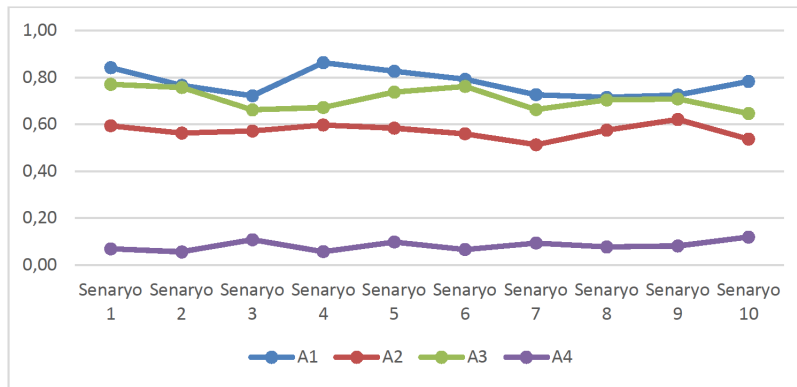
Yöntemin güvenilirliğini test etmek amacıyla farklı kriter ağırlıkları kullanılarak geliştirilmiş olan 10 senaryoya göre bulanık EDAS yöntemiyle 3 boyutlu yazıcı alternatifleri değerlendirilmiştir. Şekil 1'de değişik kriter ağırlıklarının kullanıldığı farklı senaryo durumunda her bir alternatif için değerlendirme skorlarının değişimi gösterilmektedir. Bu analiz sonucuna göre kriter ağırlıklarının değişmesi durumunda çalışmada kullanılan yöntemin sonucu stabil kalmaktadır. Buna göre kullanılan yöntemin ÇKKV probleminde alternatiflerin sıralanmasında kullanılabilecek etkili ve tutarlı bir yöntem olduğu söylenebilir.

Tablo 8. Tüm Alternatifler için Ortalamaya Negatif Uzaklık (NDA) Değerleri

Kriterler	Alternatif 3 Boyutlu Yazıcı Modelleri			
	A1	A2	A3	A4
K1	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,01; 0,01; 0,03)
K2	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,01; 0,01; 0,02)
K3	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,02; 0,04; 0,07)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,02; 0,02; 0,05)
K4	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,02; 0,01; 0,04)
K5	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,02; 0,01; 0,03)	(-0,02; 0,00; 0,03)	(-0,01; 0,01; 0,03)
K6	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,01; 0,04; 0,07)	(-0,04; 0,00; 0,05)
K7	(-0,03; 0,01; 0,07)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,04; 0,08)
K8	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,01; 0,02; 0,04)
K9	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,01; 0,01; 0,04)
K10	(-0,03; 0,01; 0,06)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,02; 0,02; 0,07)
K11	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,02; 0,00; 0,04)	(-0,02; 0,00; 0,04)	(-0,01; 0,01; 0,04)
K12	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,02; 0,01; 0,04)	(-0,01; 0,01; 0,05)
K13	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,02; 0,01; 0,03)	(-0,01; 0,01; 0,04)
K14	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,02; 0; 0,02)	(-0,02; 0,00; 0,02)	(-0,01; 0,00; 0,03)
K15	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,01; 0,03)	(0,00; 0,01; 0,03)
K16	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,01; 0,01; 0,03)
K17	(0,00; 0,00; 0,03)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,03)	(0,00; 0,00; 0,03)
K18	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,00; 0,00)	(0,00; 0,05; 0,09)	(0,00; 0,00; 0,00)
K19	(-0,04; 0,00; 0,04)	(-0,02; 0,02; 0,04)	(0,00; 0,00; 0,00)	(-0,04; 0,00; 0,04)
K20	(-0,03; 0,00; 0,05)	(-0,03; 0,00; 0,05)	(-0,02; 0,01; 0,05)	(0,00; 0,00; 0,00)

Tablo 9. Ağırlıklandırılmış Toplam Uzaklıklar, Normalize Değerleri ve Değerlendirme Skorları

	sp_j	sn_j	nsp_j	nns_j	as_j	$K(as_j)$
A1	(-0,189; 0,152; 0,547)	(-0,126; 0,021; 0,248)	(-1,116; 0,893; 3,223)	(1,555; 0,907; -0,089)	(0,219; 0,900; 1,567)	0,90
A2	(-0,126; 0,021; 0,248)	(-0,086; 0,076; 0,251)	(-1,549; 0,502; 3,216)	(1,375; 0,666; -0,100)	(-0,087; 0,584; 1,558)	0,69
A3	(-0,215; 0,089; 0,475)	(-0,110; 0,132; 0,426)	(-1,265; 0,527; 2,797)	(1,481; 0,420; -0,869)	(0,108; 0,474; 0,964)	0,52
A4	(-0,051; 0,056; 0,156)	(-0,246; 0,190; 0,740)	(-0,299; 0,329; 0,919)	(2,080; 0,167; -2,247)	(0,890; 0,248; -0,664)	0,16

**Şekil 1.** Farklı Senaryoya Göre Alternatiflerin Değerlendirme Skorlarının Değişimi

5. Sonuç

Firmalar teknolojiadaki yeniliklerin üretim süreçlerinde kullanılmasıyla birlikte verimlilik artışı ve maliyet tasarrufu gibi faydalar elde edebilmektedir. Katmanlı imalat küçük miktarda ve fazla çeşitlilikteki ürünlerin üretimi için firmalara zaman ve maliyet açısından çeşitli faydalar sağlamaktadır. Bu çalışmada mobilya sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın prototip üretiminde kullanmak ve bu sayede ürünün pazara sunum sürecini kısaltmak amacıyla satın alınması planlanan 3 boyutlu yazıcının seçim problemi ele alınmıştır. Firma için en uygun 3 boyutlu yazıcının seçimi 4 ana kriter ve 20 alt kriter ele alınarak gerçekleştirilmiştir.

Literatür incelemesine göre 3 boyutlu yazıcı seçiminde kullanılan kriter setlerinin sınırlı sayıda kriteri içerdiği gözlemlenmiştir. Çalışmada sunulan detaylı kriter setinin ilgili alanda yapılacak olan araştırmalara kılavuz olacağı düşünülmektedir.

Bu problemin çözümünde ÇKKV yöntemleri olan bulanık CRITIC ve bulanık EDAS yöntemleri uygulanmıştır. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde, kriterlerin önem derecelerinin hem objektif hem de sübjektif olarak değerlendirilmesine imkân vermesi ve çözüm sürecinde standart sapma ve korelasyon gibi istatistiksel göstergeleri dikkate alarak sonuç sunması gibi avantajları sebebiyle CRITIC yöntemi tercih edilmiştir. Ayrıca CRITIC yönteminin kolay uygulanması ve her alana adapte edilebilmesi tercih edilmesindeki önemli sebeplerdendir. EDAS yönteminde alternatifler her bir kritere göre ortalama çözüm uzaklıkları hesaplanarak değerlendirilmektedir. Ayrıca EDAS yöntemi diğer ÇKKV yöntemleriyle karşılaştırıldığında daha az hesaplama gerektirmektedir. EDAS yönteminin henüz literatürde çok fazla kullanılmamış olması ve problemlerin çözümü için daha az işlem gerektirerek hızlı sonuç üretmesi yöntemin bu çalışmada tercih edilmesinin sebebidir.

Çalışmanın sonucunda, ele alınan firmanın üretimdeki kullanım amacına göre Flashforge Creator 3 modeli en uygun 3 boyutlu yazıcı olarak belirlenmiştir. Firma, belirlenen bu model ile prototip üretiminde birçok fayda sağlamıştır. 3 boyutlu yazıcı kullanımı sayesinde prototipten ürüne geçiş süresinin kısaltılması, hataların tasarım süreci gibi erken aşamalarda tespit edilebilmesi ve model üzerinde müşteri ihtiyaçlarına uygun değişikliklerin hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi gibi avantajlar elde ederek müşteri memnuniyetini artırmıştır. Bunlara ek olarak firma geleneksel üretim yöntemleri ile üretmediği ve kısıtlı tasarımı olan parçaları üretebilir duruma gelmiştir.

3 boyutlu yazıcıların farklı sektörlerde kullanımının yaygınlaşması ve piyasadaki 3 boyutlu yazıcıların sayısının artması bu problemin işletmeler için önemli bir karar süreci haline gelmesine neden olmuştur. Ancak literatürde 3 boyutlu yazıcı seçimi ile ilgili az sayıda çalışma olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle gelecekte 3 boyutlu yazıcı seçiminde işletmecilere yol gösterici olabilmesi için farklı sektörlerde uygun olabilecek seçim kriterlerinin belirlenerek farklı ÇKKV yöntemlerinin uygulanması fayda sağlayacaktır.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Yazar Katkıları: Çalışmanın Konsepti/Tasarımı- N.K., S.D.; Veri Toplama- N.K., S.D.; Verilerin Analizi/Yorumlanması- N.K., S.D.; Makaleyi Hazırlayan- N.K., S.D.; Makalenin Eleştirel Revizyonu- N.K., S.D.; Nihai Onay ve Sorumluluk - N.K., S.D.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması beyan etmemişlerdir.

Finansal Destek: Yazarlar finansal destek beyan etmemişlerdir.

Peer Review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Conception/Design of Study- N.K., S.D.; Data Acquisition- N.K., S.D.; Data Analysis/ Interpretation- N.K., S.D.; Drafting Manuscript- N.K., S.D.; Critical Revision of Manuscript- N.K., S.D.; Final Approval and Accountability- T N.K., S.D.

Conflict of Interest: Authors declared no conflict of interest.

Financial Disclosure: Authors declared no financial support.

Yazarların ORCID ID'leri / ORCID IDs of the authors

Nihan KABADAYI 0000-0003-1950-4877
Sündüs DAĞ 0000-0003-2413-2887

KAYNAKLAR / REFERENCES

- Adalı, E. A. (2017). CRITIC and MAUT methods for the contract manufacturer selection problem. *European Journal of Multidisciplinary Studies*, 2(5), 93-101.
- Akçakanat, Ö., Aksoy, E., & Teker, T. (2018). CRITIC ve MDL Temelli Edas Yöntemi ile Tr-61 Bölgesi Bankalarının Performans Değerlendirmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1(32), 1-24.
- Ali, J. (2021). A novel score function based CRITIC-MARCOS method with spherical fuzzy information. *Computational and Applied Mathematics*, 40(8), 1-27.
- Alipour-Bashary, M., Ravanshadnia, M., Abbasianjahromi, H., & Asnaashari, E. (2021). Building demolition risk assessment by applying a hybrid fuzzy FTA and fuzzy CRITIC-TOPSIS framework. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*.
- Asante, D., He, Z., Adjei, N. O., & Asante, B. (2020). Exploring the barriers to renewable energy adoption utilising MULTIMOORA-EDAS method. *Energy Policy*, 142, 111479.
- Ayçin, E. (2020). Personel seçim sürecinde CRITIC ve MAIRCA yöntemlerinin kullanılması. *İşletme*, 1(1), 1-12.
- Aydın, U., & Üstün, A. (2020). Yük taşımacılığı için bulanık EDAS yöntemi ile taşıma modu seçimi. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 3(1), 24-33.

- Bai, Y., & Wang, D. (2006). Fundamentals of fuzzy logic control—fuzzy sets, fuzzy rules and defuzzifications. In *Advanced fuzzy logic technologies in industrial applications* (pp. 17-36). Springer, London.
- Bayrakdaroğlu, F. K., & Kundakçı, N. (2019). Bulanık EDAS yöntemi ile arge projesi seçimi. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, (24), 151-170.
- Can, G. F., & Kargı, Ş. (2019). Sektörlerin iş sağlığı ve güvenliği yönünden risk seviyelerinin CRITIC-EDAS entegrasyonu ile değerlendirilmesi. *Endüstri Mühendisliği*, 30(1), 15-31.
- Çetinkaya, C., Kabak, M., & Özceylan, E. (2017). 3D printer selection by using fuzzy analytic hierarchy process and PROMETHEE. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(4), 371-380
- Chen, T., & Wu, H. C. (2021). Fuzzy collaborative intelligence fuzzy analytic hierarchy process approach for selecting suitable three-dimensional printers. *Soft Computing*, 25(5), 4121-4134.
- Demircan, M. L., & Tunc, S. (2019, July). A proposed service level improvement methodology for public transportation using Interval Type-2 Fuzzy EDAS based on customer satisfaction data. In *International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems* (pp. 1351-1359). Springer, Cham.
- Demircioğlu, M., & Coşkun, İ. T. (2018). CRITIC-MOOSRA yöntemi ve UPS seçimi üzerine bir uygulama. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 27(1), 183-195.
- Demirtaş, Ö., Zaralı, F., & Doğan S. (2020). Bulanık Ortamda Tedarikçi Seçimi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 36(3), 456-471.
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G., & Papayannakis, L. (1995). Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method. *Computers & Operations Research*, 22(7), 763-770.
- Fortune Industry Report. (2021). 3D printing market size, share and Covid-19 impact analysis. (2021) 21 Aralık 2021, <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/3d-printing-market-101902>.
- Feng, X., Wei, C., & Liu, Q. (2018). EDAS method for extended hesitant fuzzy linguistic multi-criteria decision making. *International Journal of Fuzzy Systems*, 20(8), 2470-2483.
- Ghorabae, M. K., Amiri, M., Zavadskas, E. K., & Antucheviciene, J. (2018). A new hybrid fuzzy MCDM approach for evaluation of construction equipment with sustainability considerations. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 18(1), 32-49.
- Ghorabae, M. K., Zavadskas, E. K., Amiri, M., & Turskis, Z. (2016). Extended EDAS method for fuzzy multi-criteria decision-making: an application to supplier selection. *International journal of computers communications & control*, 11(3), 358-371.
- Haleem, A., Khan, S., Luthra, S., Varshney, H., Alam, M., & Khan, M. I. (2021). Supplier evaluation in the context of circular economy: A forward step for resilient business and environment concern. *Business Strategy and the Environment*, 30(4), 2119-2146.
- Huang, Y., Lin, R., & Chen, X. (2021). An enhancement EDAS method based on prospect theory. *Technological and Economic Development of Economy*, 27(5), 1019-1038.
- Jana, C., & Pal, M. (2021). Extended bipolar fuzzy EDAS approach for multi-criteria group decision-making process. *Computational and Applied Mathematics*, 40(1), 1-15.
- Justino Netto, J. M., Ragoni, I. G., Frezzatto Santos, L. E., & Silveira, Z. C. (2019). Selecting low-cost 3D printers using the AHP method: a case study. *SN Applied Sciences*, 1(4), 1-12.
- Kahraman, C., Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Cevik Onar, S., Yazdani, M., & Oztaysi, B. (2017). Intuitionistic fuzzy EDAS method: an application to solid waste disposal site selection. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 25(1), 1-12.
- Kahraman, C., Cebeci, U., & Ulukan, Z. (2003). Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. *Logistics information management*.
- Kahraman H. (2021). Endüstri 4.0 ile katmanlı imalat. 20 Aralık 2021, <https://www.endustri40.com/endustri-4-0-ile-katmanli-uretim/>
- Kamali Saraji, M., Streimikiene, D., & Kyriakopoulos, G. L. (2021). Fermatean fuzzy CRITIC-COPRAS method for evaluating the challenges to industry 4.0 adoption for a sustainable digital transformation. *Sustainability*, 13(17), 9577.
- Karagöz, İ., Bekdemir, A. D., & Özlem, T. (2021). 3B yazıcı teknolojilerindeki kullanılan yöntemler ve gelişmeler üzerine bir derleme. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(4), 1186-1213.
- Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Olfat, L., & Turskis, Z. (2015). Multi-criteria inventory classification using a new method of evaluation based on distance from average solution (EDAS). *Informatica*, 26(3), 435-451.
- Khamhong, P., Yingviwatanapong, C., & Ransikarbum, K. (2019, December). Fuzzy analytic hierarchy process (AHP)-based criteria analysis for 3D printer selection in additive manufacturing. In *2019 Research, Invention, and Innovation Congress (RI2C)*, (pp. 1-5). IEEE.
- Kısa, A. C. G., & Ayçin, E. (2019). OECD Ülkelerinin Lojistik Performanslarının SWARA tabanlı EDAS Yöntemi ile Değerlendirilmesi. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(1), 301-325.
- Kıracı, K., & Bakır, M. (2018). CRITIC Temelli EDAS Yöntemi ile Havayolu İşletmelerinde Performans Ölçümü Uygulaması. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (35), 157-174.
- Kutlu Gündoğdu, F., Kahraman, C., & Civan, H. N. (2018). A novel hesitant fuzzy EDAS method and its application to hospital selection. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 35(6), 6353-6365.
- Mançanares, C. G., de S Zancul, E., Cavalcante da Silva, J., Cauchick Miguel, P. A. (2015). Additive manufacturing process selection based on parts' selection criteria. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 80(5), 1007-1014.
- Mishra, A. R., Rani, P., & Pandey, K. (2022). Fermatean fuzzy CRITIC-EDAS approach for the selection of sustainable third-party reverse logistics providers using improved generalized score function. *Journal of ambient intelligence and humanized computing*, 13(1), 295-311.
- Mukul, E., Büyükkökan, G., & Güler, M. (2019). Strategic analysis of intelligent transportation systems. *Beykoz Akademi Dergisi*, 148-158.

- Narayanamoorthy, S., Annapoorani, V., Kang, D., & Ramya, L. (2019). Sustainable assessment for selecting the best alternative of reclaimed water use under hesitant fuzzy multi-criteria decision making. *IEEE Access*, 7, 137217-137231.
- Özbek, A., & Engür, M. (2018). EDAS yöntemi ile lojistik firma web sitelerinin değerlendirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 21(2), 417-429.
- Özdağoğlu, A., Keleş, M. K., & Eren, F. Y. (2021). Laboratuvar Kan Gazı Cihazı Alternatiflerinin Bulanık VIKOR ve Bulanık EDAS ile Değerlendirilmesi. *Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 11(1), 220-237.
- Polat, G., & Bayhan, H. G. (2020). Selection of HVAC-AHU system supplier with environmental considerations using Fuzzy EDAS method. *International Journal of Construction Management*, 1-9.
- Prabhu, S. R., & Ilankumaran, M. (2019). Decision making methodology for the selection of 3D printer under fuzzy environment. *International Journal of Materials and Product Technology*, 59(3), 239-252.
- Rakhade, R. D., Patil, N. V., Pardeshi, M. R., & Patil, B. G. (2021). Selection of 3D Printer for Innovation Centre of Academic Institution Based on AHP and TOPSIS Methods. *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 9, no. 12, pp. 1872-1880
- Rakhade, D. (2021). Selection of 3D printer for Innovation Centre of academic institution based on AHP and TOPSIS methods, *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 9, no. 12, pp. 1872-1880.
- Ransikarbun, K., & Khamhong, P. (2021). Integrated fuzzy analytic hierarchy process and technique for order of preference by similarity to ideal solution for additive manufacturing printer selection. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 30(9), 6481-6492.
- Roberson, D. A., Espalin, D., Wicker, R. B. (2013). 3D printer selection: A decision-making evaluation and ranking model. *Virtual and Physical Prototyping*, 8(3), 201-212.
- Shanker, N. (2021). *Resiliency-not-a-revolution-how-3d-printing-will-change-global-supplychains*.20 Aralık 2021, <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2020/07/08/resiliency-not-a-revolution-how-3d-printing-will-change-global-supply-chains/?sh=36a7310b5b49>
- Sönmez, S., Kesen, U. Dalgıç C. 6. 3 Boyutlu yazıcılar uluslararası matbaa teknolojileri sempozyumu, İstanbul, Türkiye, 2018, 471-481.
- Stanujkic, D., Popovic, G., & Brzakovic, M. (2018). An approach to personnel selection in the IT industry based on the EDAS method. *Transformations in Business & Economics*, 17(2), 32-44.
- Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., Ghorabae, M. K., & Turskis, Z. (2017). An extension of the EDAS method based on the use of interval grey numbers. *Studies in Informatics and Control*, 26(1), 5-12.
- Stević, Ž., Vasiljević, M., Zavadskas, E. K., Sremac, S., & Turskis, Z. (2018). Selection of carpenter manufacturer using fuzzy EDAS method. *Engineering Economics*, 29(3), 281-290.
- Tuş, A., & Aytac Adalı, E. (2019). The new combination with CRITIC and WASPAS methods for the time and attendance software selection problem. *Opsearch*, 56(2), 528-538.
- Ulutaş, A. (2017). EDAS yöntemi kullanılarak bir tekstil atölyesi için dikiş makinesi seçimi. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 9(2), 169-183.
- Ulutaş, A. (2018). Entropi Tabanlı Edas Yöntemi ile Lojistik Firmalarının Performans Analizi. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, (23), 53-66.
- Vesković, S., Stević, Ž., Karabašević, D., Rajilić, S., Milinković, S., & Stojić, G. (2020). A new integrated fuzzy approach to selecting the best solution for business balance of passenger rail operator: Fuzzy PIPRECIA-fuzzy EDAS model. *Symmetry*, 12(5), 743.
- Wang, S., Wei, G., Lu, J., Wu, J., Wei, C., & Chen, X. (2022). GRP and CRITIC method for probabilistic uncertain linguistic MAGDM and its application to site selection of hospital constructions. *Soft Computing*, 26(1), 237-251.
- Wang, D., & Zhao, J. (2016). Design optimization of mechanical properties of ceramic tool material during turning of ultra-high-strength steel 300M with AHP and CRITIC method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84(9), 2381-2390.
- Yang, K., Duan, T., Feng, J., & Mishra, A. R. (2021). Internet of things challenges of sustainable supply chain management in the manufacturing sector using an integrated q-Rung Orthopair Fuzzy-CRITIC-VIKOR method. *Journal of Enterprise Information Management*.
- Rostamzadeh, R., Ghorabae, M. K., Govindan, K., Esmaili, A., & Nobar, H. B. K. (2018). Evaluation of sustainable supply chain risk management using an integrated fuzzy TOPSIS-CRITIC approach. *Journal of Cleaner Production*, 175, 651-669.
- Yılmaz, M., & Atan, T. (2021). Hospital site selection using fuzzy EDAS method: case study application for districts of Istanbul. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, (Preprint), 1-12.
- Yürüyen, A. A., & Ulutaş, A. (2020). Bulanık AHP ve bulanık EDAS yöntemleri ile üçüncü parti lojistik firması seçimi. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(İktisadi ve İdari Bilimler), 283-294.
- Zadeh, L. A. (1996). *Fuzzy sets*. In *Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: selected papers by Lotfi A Zadeh* (pp. 394-432).
- Liu, Y., Eckert, C. M., & Earl, C. (2020). A review of fuzzy AHP methods for decision-making with subjective judgements. *Expert Systems with Applications*, 161, 113738.
- Zagidullin, R., Mitroshkina, T., & Dmitriev, A. (2021, March). Quality function deployment and design risk analysis for the selection and improvement of FDM 3D printer. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 666, No. 6, p. 062123). IOP Publishing.

Atf Biçimi / How cite this article

Kabadayı, N., & Dağ, S. (2024). 3D Printer selection by using fuzzy CRITIC and fuzzy EDAS methods. *Journal of Transportation and Logistics*, 9(1), 121-138. <https://doi.org/10.26650/JTL.2024.1149720>

Yerel Tedarik Zincirleri ve Afetler: Yerel Tedarik Zincirlerinin Önemi

Local Supply Chains and Disasters: The Importance of Local Supply Chains

İpek Özenir¹ 

¹(Dr. Öğr. Üyesi.), Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Antakya Meslek Yüksekokulu, Yönetim ve Organizasyon Bölümü, Hatay, Türkiye

ÖZ

Çalışmada sürekli hayatımızda olan afet kavramı ve önemi uzun yıllardır göz ardı edilen yerel tedarik zinciri kavramı birlikte ele alınmıştır. Çalışmanın iki ana amacı bulunmaktadır, birincisi afetlerde yerel tedarik zincirlerinin yerini, ikincisi yerel tedarik zincirlerinin önemini ve güçlendirilmesi için neler yapılması gerektiğini ortaya çıkarmaktır. Çalışmada, öncelikle yerel tedarik zincirlerinin afetlerde nasıl konumlandığı açıklanmıştır. Devamında, SWOT analizi (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats analysis) yapılarak, yerel tedarik zincirlerinin güçlü ve zayıf yönleri, yerel tedarik zincirlerinin önündeki fırsatlar ve tehditler ortaya konmuş ve yerel tedarik zincirlerinin güçlendirilmesine yönelik stratejiler TOWS matrisi (Threats, Opportunities, Weaknesses, Strengths matrix) oluşturularak belirlenmiştir. Yerel tedarik zincirlerinin SWOT analizinde, yirmi iki güçlü yön, on iki zayıf yön, dokuz fırsat ve altı tehdit maddesi tespit edilmiş, TOWS matrisi ile yerel tedarik zincirlerini güçlendirmek adına sekiz strateji belirlenmiştir. Çalışma, bilindiği kadarıyla afetlerle yerel tedarik zincirlerini birlikte ele alan, yerel tedarik zincirleri için SWOT analizini yapan ve TOWS matrisini oluşturan ilk Türkçe çalışmadır. Çalışma hem literatür hem de afetlerin oldukça yoğun yaşandığı ve yerel tedarik zincirlerinin baskın konumda olduğu, özellikle Türkiye gibi ülkeler ve yerel tedarik zincirinde yer alan üyeler için önem arz etmektedir.

ABSTRACT

The study addresses the concept of disaster, which is a permanent fixture of life, alongside the concept of local supply chain, the significance of which has been disregarded for many years. The study has two main objectives, the first being to reveal the role local supply chains have in disasters and the second one being to reveal the importance of local supply chains and what must be done to empower them. The study primarily clarifies how local supply chains are positioned in disasters. By conducting a strengths, weaknesses, opportunities, and threats (SWOT) analysis, the study subsequently exposes the strengths and weaknesses of local supply chains, as well as the opportunities and threats to local supply chains, before using the threats, opportunities, weaknesses, and strengths (TOWS) matrix to uncover strategies to strengthen local supply chains. The SWOT analysis of local supply chains identified twenty-two strengths, twelve weaknesses, nine opportunities, and six threats, while the TOWS matrix determined eight strategies to empower local supply chains. As far as is known, this study is the first Turkish study to jointly address disasters and local supply chains, to perform a SWOT analysis on local supply chains, and to form a TOWS matrix for supply chains. The study is important both in terms of the literature and especially for countries such as Türkiye, where disasters frequently occur and local supply chains have a dominant position, as well as for members involved in the local supply chain.

Anahtar Kelimeler: yerel tedarik zinciri yönetimi, SWOT analizi, afet yönetimi, yerel kaynak kullanımı, yerel tedarik zincirleri, TOWS matrisi

Keywords: local supply chain management, SWOT analysis, disaster management, local sourcing, domestic supply chains, TOWS matrix

EXTENDED ABSTRACT

Disasters are acknowledged as one of phenomena that disrupt supply chains (Pfeiffer, Burdi and Schlueter 2017, p. 399). During recent years, disaster-related outages have impacted several supply chain members, politicians, and businesses, from end consumers to the raw material suppliers at the start of the supply chain (Ryan et al., 2021; Xu, Elomri, Kerbache and El Omri, 2020, p. 155). Meanwhile, the issue of local supply chains comes to mind with regard to enabling sustainable production and trade while also

Corresponding Author: İpek Özenir E-mail: ipekozenir@mku.edu.tr

Submitted: 10.12.2023 • Revision Requested: 31.01.2024 • Last Revision Received: 18.02.2024 • Accepted: 25.02.2024 • Published Online: 06.03.2024



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

trying to preserve the existence of global supply chains (Banda, Mugwagwa, Wanjala, Mackintosh and Kale, 2021; Choi et al., 2021; Dewick, Hofstetter and Schröder, 2021; Kamble et al., 2023; Kudtarkar, 2020; Nandi, Sarkis, Hervani and Helms, 2021, p. 15; Soto-Mendoza, Ruiz-y-Ruiz, García-Calvillo, Nucamendi-Guillén and Cardona-Valdés, 2023). “Local supply chains involve the supply chains where the manufacturer supplies the raw materials used in production, the semi-finished products from local suppliers, and the sellers of the final products obtained as a result of production activities to local customers” (Golija, 2023; Kamble et al., 2023, p. 1; Soto-Mendoza et al., 2023). Local supply chains play a pivotal role in ensuring the continuity of production activities in the region (Cagliano, Caniato, Golini, Kalchschmidt and Spina, 2008) in regard to disaster response and nations’ economic independence (Bateman, 1998) and also ensure the commitment and well-being of the people (Ashby, 2016; Ismayilov, Taghiyev, Godunova and Mirmotahari, 2008). For these reasons, the current study has chosen to address the concepts of disasters and local supply chains. The study has two main objectives: The first is to reveal local supply chains’ position in disasters, and the second is to unveil the importance of local supply chains and what needs to be done to empower them. In line with these objectives, the study has prepared and looks for answers to the following research questions:

- How do local supply chains function in disasters?
- What are the strengths and weaknesses of local supply chains?
- What are the opportunities and threats to local supply chains?
- What should be done to strengthen local supply chains?

The study examines the literature in order to find answers to these questions, as well as performs SWOT analysis of local supply chains before preparing and assessing TOWS matrix with regard to local supply chains. As far as is known, this is the first Turkish study to jointly address disasters and local supply chains, to conduct a SWOT analysis on local supply chains, and to form a TOWS matrix. Upon examining the literature, studies are found to have demonstrated how local supply chains were opted for as a solution to the problems that occurred in global supply chains during the pandemic (Çetin and Yücesoy, 2020; Çolakoğlu and Topsakal, 2023; Kalkan, Özkan and Karadoğan, 2021). However, no study is yet found to have comprehensively addressed local supply chains, unveiled their significance, or made evaluations or recommendations on how to empower them. The study has significance both for the literature and for the members in the local supply chains, particularly in such countries as Türkiye where disasters occur intensely and local supply chains have a dominant position.

When examining how local supply chains are situated in disasters, global acquisitions are generally more appropriate in the term of disaster preparedness with regard to time (Duran, Ergun, Keskinocak and Swann, 2013, p. 458). However, cases have been stated to occur where local supply chains cannot be separated from the global supply chain while supplying the materials required in sudden disasters (Falasca and Zobel, 2011, p. 155). Once a disaster has occurred, the first stage involves assessing the region where the disaster took place in terms of such things as infrastructure and needs (Duran et al., 2013, p. 452). At this phase, the idea is that what is needed should be provided primarily from local sources, if they are operable (Beamon and Balcik, 2008, p. 10; Martirena and Olivera, 2006; Nurre, Sharkey and Mitchell, 2016; Pan American Health Organization (PAHO), 2001; Piotrowicz, 2018). Local supply chains play a significant role here with the arrival of outside help (Tongko, 2022, p. 3).

SWOT analyses are one of the most frequently used methods for analyzing the strengths, weaknesses, opportunities, and threats organizations face (Benzaghta, Elwalda, Mousa, Erkan and Rahman, 2021, p. 56; Wu, 2020, p. 352). This study’s SWOT analysis of local supply chains resulted in the identification of twenty-two strengths, twelve weaknesses, nine opportunities, and six threats. Using the strengths, weaknesses, threats and opportunities derived from the SWOT analysis, strategies can then be identified with a TOWS matrix (Weihrich, 1982, p. 61). This study used the TOWS matrix to determine eight strategies for empowering local supply chains, identifying the Strengths-Opportunities strategy of increasing local supply chains’ market share and the Strengths-Threats strategies of creating sustainable local supply chains and improving product diversity and quality. As for the Weaknesses-Opportunities strategies, the study identified the strategies of creating resilient local supply chains, employing developing technology to improve processes, using state support to improve processes, and developing human resources. The study also determined the Weaknesses-Threats strategy of reducing production costs.

When considering the fact that no country has all or mostly all factors of production (e.g., raw materials and natural resources from agriculture to manufacturing), a complete return to local supply chains can be said to be impossible. Additionally, returning to local supply chains will not be easy for either countries or businesses. However, one needs to recall that such phenomena as the global dimension, disasters, individual orientations, and political relations will empower local supply chains (Frikkee, 2020), as well as the fact that “regionalism is smart” (Feagan, 2007, p. 23). On account of the problems at the international level, even if no local supply chains occur in the near future, a dominant supply chain order of regional supply chains is thought to be in the works for world (Kalkan et al., 2021, p. 19; Kılıçlı, 2022). Therefore, to reduce dependencies, to evaluate the opportunities offered by geography, and to assess the outcomes of disasters, expanding and advancing these possibilities, making local supply chains resistant, and protecting their assets, especially in developing and underdeveloped countries, are essential both in general as well as for being able to intervene more quickly in the disasters that may occur and to be less negatively affected by the consequences of disasters (Ishida, 2020, p. 148). As Tanpinar stated, “Geography is destiny, which means accepting the necessities of this can be

reconciled well within on condition that one keeps up with it. For those who forget these conditions altogether, however, misery is destined” (Tanpinar, 2000, p. 78, as cited in Bal, 2018, p. 312).

1. Giriş

Afetler, tedarik zincirlerinde kesintilere sebep olabilecek olaylardan biri olarak kabul edilmektedir (Pfeiffer ve ark., 2017, s.399). Son yıllarda afetlerden kaynaklı kesintiler tedarik zincirinin sonunda yer alan nihai tüketiciden hammadde tedarikçisine kadar birçok tedarik zinciri üyesini, politikacıları, iş dünyasını etkilemiştir (Ryan ve ark., 2021, s.1; Xu ve ark., 2020, s. 155). Mevcut durum ve gelecek için alınması gereken önlemler dünya gündemini meşgul etmiş ve etmeye de devam etmektedir. Ekonomik açıdan daha az etkilenme, üretimin ve ticaretin devamlılığının sağlanması adına bir tarafta küresel tedarik zincirlerinin varlığı korunmaya çalışılırken, bir diğer tarafta yerel tedarik zincirleri konusu akıllara gelmektedir (Banda ve ark., 2021; Choi ve ark., 2021; Dewick ve ark., 2021; Kamble ve ark., 2023; Kudtarkar, 2020; Nandi ve ark., 2021, s. 15; Soto-Mendoza ve ark., 2023). Yerel tedarik zincirleri; “üreticinin üretimde kullanacağı hammaddeleri, yarı mamulleri yerel tedarikçilerden satın aldığı, üretim faaliyetleri sonucunda elde ettiği nihai mamulleri yine yerel müşterilere sattığı tedarik zincirleridir” (Golija, 2023; Kamble ve ark., 2023, s. 1; Soto-Mendoza ve ark., 2023).

Afetlere cevap verme noktasında yer alan yerel tedarik zincirleri; ulusların ekonomik bağımsızlığının (Bateman, 1998), halkın refahının ve bağlılığının (Ashby, 2016; Ismayilov ve ark., 2008), buldukları bölgedeki üretim faaliyetlerinin devamlılığının sağlanması (Cagliano ve ark., 2008) adına oldukça önemli konumdadırlar. Pandemi döneminde ülkelerin başta gıda olmak üzere bazı ürünlerde uygulamış oldukları ihracat yasakları, kendi ülkelerinde üretimin ve tüketimin devamlılığını sağlarken bir yandan da politikalarına yerel tedarik zincirlerine dönüşü dâhil ettiklerini göstermiştir (Çetin ve Yücesoy, 2020, s. 2; Kudtarkar, 2020). Örneğin kişisel koruyucu donanımların üretilmesinde önemli rol oynayan Çin, üretim kapasitesi yetersizliği sebebiyle öncelikle yerel talebi karşılamak için çalışmıştır (Xu ve ark., 2020, s.156). İşletmeler açısından bakıldığında, küresel tedarikçilere bağımlılık, üretimin devamlılığı konusunda problemler yarattığından yerel tedarikçilerle çalışmak, bağımlılığı azaltacak bir adım olarak görülmüştür (Dewick ve ark., 2021, s. 50; Xu ve ark., 2020, s. 160). Ayrıca mal veya hizmet olması fark etmeksizin bazı ürünlerin müşteri tercihi, politik hassasiyet vb. sebeplerle yerel tedarik zincirlerinde üretilmeye devam etmesi gerekmektedir, bu açıdan yereldeki kaynakları korumak ve becerileri geliştirmek de gerekmektedir (Tate, 2014, s. 67).

Bu sebeplerden dolayı, çalışmada afetler ve yerel tedarik zincirleri kavramları birlikte ele alınmıştır. Çalışmanın iki ana amacı bulunmaktadır, birincisi afetlerde yerel tedarik zincirlerinin yerini, ikincisi yerel tedarik zincirlerinin önemini ve güçlendirilmesi için neler yapılması gerektiğini ortaya çıkarmaktır. Çalışmanın amaçları doğrultusunda aşağıda belirtilen araştırma soruları hazırlanmış ve çalışmada bu sorulara cevap aranmıştır:

- Yerel tedarik zincirleri afetlerde nasıl konumlanmaktadır?
- Yerel tedarik zincirlerinin güçlü oldukları ve zayıf oldukları yönler nelerdir?
- Yerel tedarik zincirlerinin önündeki fırsatlar ve tehditler nelerdir?
- Yerel tedarik zincirlerini güçlendirmek için neler yapılmalıdır?

Yukarıda belirtilen soruların cevaplarını bulmak amacıyla literatür incelenmiş, yerel tedarik zincirlerinin SWOT analizi yapılmış, yerel tedarik zincirlerini güçlendirmek için TOWS matrisi kullanılarak stratejiler belirlenmiş ve değerlendirmelerde bulunulmuştur. Çalışma, bilindiği kadarıyla, afetlerle yerel tedarik zincirlerini birlikte ele alan, yerel tedarik zincirleri için SWOT analizini yapan ve TOWS matrisini oluşturan ilk Türkçe çalışmadır. Literatür incelendiğinde, çalışmalarda küresel tedarik zincirlerinde yaşanan problemlere karşı yerel tedarik zincirleri seçeneğinin belirtildiği görülmektedir (Çetin ve Yücesoy, 2020; Çolakoğlu ve Topsakal, 2023; Kalkan ve ark., 2021). Ancak yerel tedarik zincirlerini kapsamlı olarak ele alan, önemini ortaya çıkaran, değerlendiren ve güçlendirilmesine yönelik önerilerde bulunan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışma hem literatür için hem de afetlerin oldukça yoğun yaşandığı, yerel tedarik zincirlerinin baskın konumda olduğu özellikle Türkiye gibi ülkeler ve yerel tedarik zincirinde yer alan üyeler için de önem arz etmektedir.

2. Yerel Tedarik Zincirleri ve Afetler

2.1. Afetlerde Yerel Tedarik Zincirlerinin Konumu

Afetlerde tedarik zinciri yönetimi, bireylerin yaşamlarını devam ettirmeleri için elzem olan malzemelerin tedarik edilmesi süreciyle ilgilenmektedir (Franklin ve Todt, 2014; Roy, Paul, Paul, Kashyap ve Jana, 2021, s. 1). İhtiyaç duyulan malzemelerin tedariki, koşullar doğrultusunda küresel tedarik zincirlerinden de yerel tedarik zincirlerinden de sağlanabilmektedir (PAHO, 2001, s. 43; Roh ve Kim, 2016, s. 8). Afet öncesinde, afete hazırlık döneminde (zaman olması durumunda) genellikle küresel satın almalar daha cazip gelebilmekle birlikte (Duran ve ark., 2013, s. 458), aniden meydana gelen afetlerde ihtiyaç duyulan malzemelerin tedarik sürecinde yerel tedarik zinciri - küresel tedarik zinciri ayrımının yapılmadığı durumlar söz konusu olabilmektedir (Falasca ve Zobel, 2011, s. 155). Afete hazırlık sürecinde yerel tedarikçilerle bağlantılar kurulmaktadır ancak afetlerden yerel tedarik

zincirlerinin de etkilenebileceği göz önünde bulundurulmalıdır (Annala, 2010; Karlı ve Tanyaş, 2020; Rodríguez, Laverde ve Pérez, 2021, s. 6; Wang, Hubbard ve Hubbard, 2014).

Afetin meydana gelmesinin ardından ilk aşamada afetin meydana geldiği bölgenin durum değerlendirmesi (altyapı, ihtiyaçlar vb.) yapılmaktadır (Duran ve ark., 2013, s. 452). Bu aşamada ihtiyaçların öncelikle yerel kaynaklardan (çalışabilir durumda olması halinde) temin edilmesi düşünülmektedir (Beamon ve Balcik, 2008, s. 10; Martirena ve Olivera, 2006; Nurre ve ark., 2016; PAHO, 2001; Piotrowicz, 2018). Bu aşamada, dış kaynaklardan yardım gelene kadar geçen zaman aralığında yerel tedarik zincirleri önemli rol oynamaktadır (Tongko, 2022, s. 3). Afete müdahale sürecinde, yardım için getirilen malların son mil teslimatlarında yerel dağıtım işletmelerinin kullanımı tercih edilebilmektedir, böylece dağıtımın daha hızlı gerçekleşmesi sağlanabilmektedir (Beamon ve Balcik, 2008, s. 17; Duran ve ark., 2013, s. 451; Wood ve ark., 1995). Burada yerel iş gücünün kullanımına önem verilmelidir. Yerel işgücü ulaşımına ilişkin bilgilere sahip olduğundan, yapılan yardım faaliyetinin etkinliği artırılmış olacaktır (Anderson ve Woodrow, 1989, s.64'ten akt. Wood ve ark., 1995, s. 332; Matopoulos, Kovács ve Hayes, 2014). Ancak yerel dağıtım ağını kullanabilmek için dağıtım ağının alt yapısını kesintilere karşı korumak gerekmektedir (Nurre ve ark., 2016, s. 89). Afet sonrasında yardım kuruluşları yerel depolama ve tedarik konusunda problemler yaşamaktadırlar (Balcik, Beamon, Krejci, Muramatsu ve Ramirez, 2010, s. 32). Özellikle sağlık malzemeleri gibi afetlerde kullanım açısından önemli olan malzemelere ait depolarının korunması gerekmektedir (Errett, Tanner, Shen ve Chang, 2019, s. 445). Yerel depoların korunması ve sağlam inşa edilmesi gerekliliği, toparlanma aşamasında yerel tedarik zincirlerinde üretimin ve lojistik faaliyetlerin devamlılığı için de gerekmektedir. Bu sebeple kentlerin afete hazırlık planları yapılırken yerel tedarik zincirine ilişkin bilgilerin de bu planlarda yer alması sağlanmalıdır (Annala, 2010).

Yerel tedarik zincirleri ve afetlerle ilgili yapılmış çalışmalar incelendiğinde; Annala (2010, s. 2), afete müdahale sürecinde yerel kaynak kullanımını ele almıştır. Taylor (2012, s. 68), Afrika'da yerel tedarik zincirleri ve önceden konuşlandırılmış stoklar aracılığıyla yapılan yardımların maliyet, hız, kesinti riski ve çevreye verilen zarar açısından daha avantajlı olduğunu belirtmiştir. Skoglund ve Hertz (2012) barış koruma operasyonlarında İsveç Silahlı Kuvvetleri'nin ihtiyaç duyulan mal ve hizmetlerin yerel tedarikçilerden tedarik edilmesinin, hem yerel tedarikçilerin olduğu bölge adına hem de askeri kuvvetler için çeşitli faydaları olduğunu belirtmişlerdir. Duran ve ark., (2013) çalışmalarında, afetlerde ihtiyaç duyulan malzemelerin yerel ve küresel tedarikçilerden satın almanın avantajlarına ve dezavantajlarına yer vermişlerdir. Matopoulos ve ark., (2014, s. 621), teorik ve uygulamalı olarak afetlerde ihtiyaç duyulan fiziksel, insani ve organizasyonel kaynakların tespitini ve bu kaynakların gelişimini Kaynak Temelli Görüş Teorisi'ne dayalı olarak incelemişlerdir. Roh ve Kim (2016), afetlerde ihtiyaçların yerel kaynaklardan, küresel kaynaklardan ve önceden konuşlandırılmış dağıtım merkezlerinden karşılanmasını kıyaslamışlardır. van Kempen, Spiliotopoulou, Stojanovski ve De Leeuw (2017, s. 1718), afet sonrası kalkınma için ihtiyaç duyulan yardım malzemelerinin yerel kaynaklardan ve uluslararası kaynaklardan temin edilmesini, Yaşam Döngüsü Sürdürülebilirlik Analizi yaparak değerlendirmişlerdir. Çalışmada, yerel kaynakların çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik açısından daha çok tercih edildiği ortaya çıkmıştır (van Kempen ve ark., 2017, s.1718). Pfeiffer ve ark., (2017), afet sonrasında kritik yerel tedarik zincirlerinin ve talep düğümlerinin altyapı bağımlılık bilgilerini gerçek zamanlı analiz ederek operasyonel durumları hakkında bilgi vermeye yarayan model geliştirmişlerdir. Kunz ve Gold (2017), toparlanma aşamasında yerel tedarik zincirleri ile çalışmanın, bölgenin toparlanmasına ve gelişmesine katkı sağlarken bu durumun sürdürülebilir insani yardım tedarik zincirlerin oluşmasını da sağlayacağını belirtmişlerdir. Kwon ve Kim (2018) yapmış oldukları çalışmada, insani tedarik zincirlerinde yerel kaynak kullanımının avantajlarından dezavantajlarından bahsetmişlerdir. Lewin, Besiou, Lamarche, Cahill ve Guerrero-Garcia (2018, s. 522) tarafından yapılan çalışmada, insani örgütlerin, afetlere hazırlık sürecinde yerel tedarik zincirleri ile etkileşim halinde olmalarını, yerel tedarik zincirlerini güçlendirmeye ve dirençlerini artırmaya yönelik faaliyetlerde bulunmaları gerektiğini belirtmişlerdir. Eftekhari, Jeannette Song ve Webster (2022, s.315), afet sonrası ihtiyaç duyulan malzemelerin optimum stok miktarlarını belirlemek amacıyla yerel tedarikçilerden satın alma ve önceden konuşlandırma politikalarını, bütçe, talep ve yerel arz belirsizlikleri durumunda tek bir ürün için belirlemeye çalışmışlardır.

2.2. Afetlerde Yerel Tedarik Zincirlerinin Sağladığı Avantajlar ve Dezavantajlar

Afetlerde ihtiyaçların yerel kaynaklardan temin edilmesi; taşıma maliyetlerini, taşıma süresini ve depolama maliyetlerini düşürdüğünden çevreye verilen zarar da daha az olacaktır, gümrükleme faaliyetleri süreçte yer almadığı için daha az belgeleme gerektirir, ihtiyaçların daha kısa sürede ve daha doğru temin edilmesini sağlar, paranın yerel kaynaklarda kalmasını sağlayarak yerel tedarikçinin hayata dönmesine ve yerel ekonomiye katkıda bulunur, ölçek ekonomisinden yararlanmayı sağlar, insani yardım faaliyetlerine olumlu katkı sağlar (Balcik ve ark., 2010, s. 24; Duran ve ark., 2013, s. 454; Jahre ve Spens, 2007, s. 7-8'den akt. Annala, 2010, s. 33-34; Kwon ve Kim, 2018, s. 103; Kovács, Matopoulos ve Hayes, 2010, s. 418; Maon, Lindgreen ve Vanhamme, 2009, s. 154; PAHO, 2001, s.43-45-50; Piotrowicz, 2018, s. 374; Roh ve Kim, 2016, s. 8; Schiffling ve Hughes, 2017, s. 4; Taylor, 2012). Ayrıca afetlerde yerel tedarikçilerle uzun süreli ve yakın ilişkiler geliştirilmesi daha kolaydır (Jahre ve Spens, 2007'den akt. Annala, 2010, s. 33). Aynı zamanda afetlerde yerel kaynakların kullanılması, örneğin gıdada, afetten etkilenen topluluğun alışkın olmadığı, bilmediği gıdaların yardım olarak verilmesini de engelleyecektir (Wood ve ark., 1995, s. 330; Matopoulos ve ark., 2014, s. 622).

İhtiyaçların yerel kaynaklardan temin edilmesinin dezavantajlarının olduğu durumlarda söz konusu olabilmektedir (Kwon ve Kim, 2018, s. 103). İhtiyaç duyulan ürünler istenilen kalitede ve istenilen miktarlarda bulunamayabilir, ürünlerin temini yerel piyasada fiyat artışına, kuruluşlar arasında rekabete sebep olabilir, ihtiyacın karşılanması için gerekli olan yerel kaynakların organizasyonu için zaman gerekebilir (Annala, 2010, s. 33; Balcik ve Beamon, 2008'den akt. Balcik ve ark., 2010, s. 24; Duran ve ark., 2013, s. 453; Falasca ve Zobel, 2011, s. 154; Maon ve ark., 2009, s. 154; Martirena ve Olivera, 2006, s. 25; PAHO, 2001, s. 45; Roh ve Kim, 2016, s. 8). Ayrıca uzun süreli yardım faaliyetleri, yardımların yapıları gereği ücretsiz olmaları sebebiyle yerel tedarik zincirlerinin olumsuz yönde etkilenmesine sebep olabilir, bölgenin toparlanması bu sebeple gecikebilir (Wood ve ark., 1995, s. 326).

3. Yöntem

Çalışma kapsamında, yerel tedarik zincirlerinin mevcut durumunu ortaya çıkarmak (Leigh, 2009, s. 122) amacıyla SWOT analizi yapılmıştır. Yerel tedarik zincirlerinin güçlendirilmesine yönelik stratejileri belirlemek amacıyla TOWS matrisi oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan veriler, yerel tedarik zincirleri, yerel üretim, yerel satın alma, yerel tedarik kavramlarının yer aldığı literatür çalışmalarının derinlemesine incelenmesiyle elde edilmiştir.

SWOT analizi, organizasyonların güçlü ve zayıf yönlerini, fırsatlarını ve tehditlerini analiz etmek için oldukça sık kullanılan yöntemlerden biridir (Benzaghta ve ark., 2021, s. 56; Wu, 2020, s. 352). Güçlü yönler, organizasyonun rekabet edebilme ve güçlenme konusundaki sahip olduğu yetenekler, zayıf yönler organizasyonun büyümesini ve varlığını sürdürmesini etkileyen, kendisinden kaynaklanan eksiklikler, fırsatlar organizasyonun büyümesini sağlayacak olumlu durumlar, tehditler ise organizasyonun stratejisine zarar verme ihtimali olan çevresel olumsuz durumlar olarak tanımlanmaktadır (Jasiulewicz-Kaczmarek, 2016, s. 676).

TOWS matrisi, SWOT analizinin bir sonraki aşaması olarak karşımıza çıkmaktadır (Ravanavar ve Charantimath, 2012, s.87). TOWS matrisi ile SWOT analizinden elde edilen bilgiler kullanılarak 4 ana strateji belirlenmektedir (Weihrich, 1982, s. 61). Güçlü yönler- Fırsatlar stratejileri, işletmenin sahip olduğu güçlü yönleri kullanarak piyasadaki fırsatlardan faydalanmasına yönelik belirlenen stratejilerdir, Zayıf yönler-Fırsatlar stratejileri, piyasadaki fırsatlardan yararlanarak zayıf yönleri azaltmaya yönelik stratejilerdir (Ravanavar ve Charantimath, 2012, s.88). Zayıf yönler- Tehditler stratejileri, işletmenin sahip olduğu zayıf yönlerin ve piyasadaki tehditlerin işletme üzerindeki etkilerini en aza indirmeye yönelik belirlenen stratejilerdir (Ravanavar ve Charantimath, 2012, s.88). Güçlü yönler- Tehditler stratejileri, piyasadaki kaynaklı tehditlerin işletme üzerindeki etkilerini, işletmenin güçlü yönlerini kullanarak en aza indirmeye çalışan stratejilerdir (Liangrokapt ve Sittiwatethanasiri, 2023, s. 87).

4. Bulgular Ve Tartışma

4.1. Yerel Tedarik Zincirlerinin SWOT Analizi

Yerel tedarik zincirlerinin SWOT analizi şu şekildedir:

Yerel Tedarik Zincirlerinin Güçlü Yönleri

- **G1:** Sürdürülebilirliğin süreçlere daha rahat dâhil edilebilmesi. Örneğin; sürdürülebilir üretim (Ashby, 2016; Concu, 2023, s. 2; Feagan, 2007; Pal, Harper ve Vellesalu, 2018, s. 1164; Sarkis, 2020; Selfa ve Qazi, 2005; Xing, 2015), sürdürülebilir satın alma (Haavisto ve Kovács, 2014; Kudtarkar, 2020), sürdürülebilir taşıma (Galatti ve Baruque-Ramos, 2019), sürdürülebilir afet lojistiği (van Kempen ve ark., 2017), sürdürülebilir tüketim (Barska ve Wojciechowska-Solis, 2020; Butu ve ark., 2020; Chambers, Lobb, Butler, Harvey ve Traill, 2007; Cvijanović, Ignjatijević, Vapa Tankosić ve Cvijanović, 2020, s. 1; Feagan, 2007; Selfa ve Qazi, 2005) gibi.
- **G2:** Kaynakların ülke içinde değerlendirilmesine imkan sağlama (Butu ve ark., 2020, s. 19; Xing, 2015, s. 34).
- **G3:** İstihdamı artırma (Butu ve ark., 2020, s. 19; Concu, 2023, s. 2; Feagan, 2007; Martirena ve Olivera, 2006; Xing, 2015, s. 34).
- **G4:** Daha hızlı taşıma ve daha düşük taşıma maliyetleri (Balanda, Ariatti, Monaghan ve Dissegna 2022; Concu, 2023, s. 2; Xing, 2015, s. 33).
- **G5:** Daha kısa tedarik sürelerinin mümkün olması (Concu, 2023, s. 2; Doherty, Benton, Fastoso ve Gonzalez Jimenez 2017; Feagan, 2007; Levy, 1997, s. 94; Macchion ve Fornasiero, 2021, s. 301; Sabri, Micheli ve Nuur, 2017, s. 39; Sarkis, 2020).
- **G6:** Ürünlerin daha kaliteli üretilmeleri (Barska ve Wojciechowska-Solis, 2020, s. 1; Chambers ve ark., 2007, s. 208; Cvijanović ve ark., 2020, s. 13; Feagan, 2007, s. 23; Gracia, 2014, s. 112; Khan ve Prior, 2010, s. 163; Marsh, Ryan ve Soroka, 2016, s. 665; Pal ve ark., 2018, s. 1164; Zepeda ve Leviten-Reid, 2004, s. 5).
- **G7:** Yerel ekonominin gelişimine katkı sağlamaları (Barska ve Wojciechowska-Solis, 2020, s. 5; Butu ve ark., 2020, s. 19; Chambers ve ark., 2007, s. 208; Concu, 2023, s. 2; Doherty ve ark., 2017, s. 15; Kudtarkar, 2020, s. 177; Martirena ve Olivera, 2006, s. 25; Xing, 2015, s. 33).

• **G8:** Birçok açıdan daha az risk taşımaları (örneğin; ürünlerin mesafelerden kaynaklı teslimat sürelerinde gecikme riskinin, kalite kayıplarına ilişkin risklerin daha az olması, küresel olaylardan kaynaklı kesinti riskinin daha düşük olması, ürün güvenliğine ilişkin risklerin daha az olması, talep tahmininin daha gerçekçi yapılabilmesi) (Doherty ve ark., 2017, s. 14; Galatti ve Baroque-Ramos, 2019; Selfa ve Qazi, 2005).

- **G9:** Daha çevik tedarik zincirleri olmaları (Jin, 2004).
- **G10:** Üretilen ürünlerin daha sağlıklı olma ihtimalleri (Barska ve Wojciechowska-Solis, 2020, s. 1; Feagan, 2007; Zepeda ve Leviten-Reid, 2004, s. 5).
- **G11:** Daha düşük üretim maliyeti ve satış fiyatları (Cvijanović ve ark., 2020, s. 13; Kudtarkar, 2020, s. 177).
- **G12:** Üretim sürecinin daha kolay denetlenebilmesi (Doherty ve ark., 2017, s. 15; Macchion ve Fornasiero, 2021, s. 300; Sabri ve ark., 2017, s. 39).
- **G13:** Tam zamanında üretim politikasına uygunluk (Macchion ve Fornasiero, 2021, s. 301).
- **G14:** Yerel kapasiteyi artırma durumu (Kudtarkar, 2020, s. 177; Yadav, Alphas, D'Souza, Comstock ve Barton 2018, s. 575).
- **G15:** Kesintilere karşı dirençlilik (Doherty ve ark., 2017, s. 15).
- **G16:** Yerel ihtiyaçları ve istekleri daha iyi anlayabilme ve daha hızlı karşılayabilme yeteneği (Doherty ve ark., 2017, s.15; Galatti ve Baroque-Ramos, 2019; Sarkis, 2020).
- **G17:** Daha hızlı iletişim sağlayabilmeleri (Marsh ve ark., 2016, s. 665).
- **G18:** Esnek olmaları ve bu sebeple ürünlerde özelleştirme imkanı sunabilmeleri (Choi ve ark., 2021, s. 202; Macchion ve Fornasiero, 2021, s. 301; Marsh ve ark., 2016, s. 656).
- **G19:** Kalite ve üretimle ilgili problemlerin daha kısa sürede çözülebilmeleri (Marsh ve ark., 2016).
- **G20:** Daha az stok tutmayı sağlamları sebebiyle stok maliyetlerini düşürebilmeleri (Chopra, 2003, s. 137; Levy, 1997, s. 94; Pal ve ark., 2018, s. 1150).
- **G21:** Süreç yapılarının karmaşıklık düzeyinin daha az olması (Bohnenkamp, Schiele ve Visser, 2020; Choi ve ark., 2021, s. 202; Sabri ve ark., 2017, s. 39; Taylor, 2012).
- **G22:** Yerel tedarik zincirinin bulunduğu coğrafyanın, çeşitli ürünleri üretmeye imkân tanınması.

Yerel Tedarik Zincirlerinin Zayıf Yönleri

- **Z1:** Tüm ürünleri üretebilecek hammaddeye, teknik bilgiye, mevsimsel koşullara sahip olamama ihtimalleri (Dewick ve ark., 2021, s. 46; Doherty ve ark., 2017, s. 25; Marsh ve ark., 2016; Natsuda, Sass ve Csonka, 2022; Selfa ve Qazi, 2005; Thomas ve Barton, 2007, s. 491; Yadav ve ark., 2018).
- **Z2:** Üretim maliyetlerinin daha yüksek olma ihtimali (Macchion ve Fornasiero, 2021, s. 301).
- **Z3:** Üretim kapasitesi yetersizliği (Doherty ve ark., 2017, s. 25; Nandi ve ark., 2021).
- **Z4:** Üretim ve kalite süreçlerinde standardizasyonun ve güvenilirliğin sağlanamama ihtimali (Kudtarkar, 2020, s. 177; Yadav ve ark., 2018, s. 575).
- **Z5:** Ölçek ekonomisinden faydalanamama ihtimali (Niemi ve Pekkanen, 2016, s. 2819).
- **Z6:** Pazarlama konusundaki tecrübesizlik ve yetersizlik (Butu ve ark., 2020; Khan ve Prior, 2010).
- **Z7:** Daha yüksek satış fiyatları (Khan ve Prior, 2010, s. 165).
- **Z8:** Ürünlerin hazır bulunuşluğunun sağlanamaması ihtimali (Chopra, 2003; Khan ve Prior, 2010, s. 165).
- **Z9:** Kalifiye işgücü eksikliği (Kudtarkar, 2020).
- **Z10:** İşçilik maliyetlerinin yüksek olma ihtimali (Macchion ve Fornasiero, 2021, s. 301).
- **Z11:** Teknolojik altyapılarının yetersizliği (Butu ve ark., 2020).
- **Z12:** Yerel tedarik zincirlerinin buldukları bölgede meydana gelen afetlere karşı daha kırılgan olmaları (Annala, 2010, s. 79).

Fırsatlar

- **F1:** Küresel boyutta yaşanan sorunlar sebebiyle küresel tedarik zincirlerinde meydana gelen kesintiler (Yueh, 2020).
- **F2:** Uluslararası alanda taşıma maliyetlerinin artması.
- **F3:** Ülkelerin yerel tedarik zincirlerini destekleyen politikaları (Bohnenkamp ve ark., 2020, s. 83; Natsuda ve ark., 2022).
- **F4:** Yerel üreticilere artan güven (Cvijanović ve ark., 2020, s. 13).
- **F5:** Sürdürülebilirlik kavramına artan ilgi (Pal ve ark., 2018, s. 1163; Yueh, 2020).
- **F6:** Bireysel tüketimde, bireylerin yerel ürünleri ve üreticileri tercih etmeye ve desteklemeye yönelmeleri (Barska ve Wojciechowska-Solis, 2020, s. 1; Butu ve ark., 2020; Chambers ve ark., 2007, s. 208; Cvijanović ve ark., 2020, s. 13; Enthoven, Skambracks ve Van den Broeck 2023; Gracia, 2014, s. 124; Golija, 2023, s. 25; Yueh, 2020; Zepeda ve Leviten-Reid, 2004, s. 5).
- **F7:** Küresel tedarik zincirlerinde, tedarikçi çeşitlendirmeye olan yönelim (Kudtarkar, 2020, s. 176).
- **F8:** Bürokratik engellerin daha az olması (Manolică ve Roman, 2012).
- **F9:** Teknolojide yaşanan gelişmeler (Sarkis, 2020).

Tehditler

- **T1:** Küresel boyutta üretim yapma maliyetinin hala birçok üründe daha düşük olması (Niemi ve Pekkanen, 2016; Vidrova, 2020).
- **T2:** İşletmeler tarafından küresel boyutta üretimin ve tedarikçinin tercih edilmesi (Bohnenkamp ve ark., 2020; Cagliano ve ark., 2008).
- **T3:** Ülkelerin uluslararası ticareti kolaylaştırmaya yönelik hamleleri.
- **T4:** İklim değişikliği (Douglas, 2009, s. 127).
- **T5:** Taşımacılık süreçlerinde çevreye daha az zarar veren ulaşım araçlarına yönelim (Özenir, 2021, s.39).
- **T6:** Ekonomik krizler.

SWOT analizi incelendiğinde bazı maddelerin hem olumlu hem de olumsuz tarafta yer aldığı görülebilmektedir. Örneğin, bazı yerlerde bazı ürünler daha ucuza satılabiliyorken (Cvijanović ve ark., 2020, s. 13), başka yerlerde aynı ürünler daha pahalıya satılabilmektedir (Khan ve Prior, 2010, s. 165). Bazı coğrafyalarda iş gücü ucuz (Macchion ve Fornasiero, 2021, s. 291) bir diğer coğrafya da iş gücü pahalı olabilmektedir (Pal ve ark., 2018, s. 1164). Durumun bu şekilde olmasında ürünlerin, bu ürünlerin üretildiği coğrafyanın koşullarının, ülkeler arası ilişkilerin payının olduğu unutulmamalıdır.

4.2. Yerel Tedarik Zincirleri Stratejileri- TOWS Matrisi

Bu başlık altında, SWOT analizi doğrultusunda oluşturulan TOWS matrisine ve stratejilere yer verilmiştir.

Tablo 1. Yerel Tedarik Zincirleri -TOWS Matrisi

Güçlü Yönler/Fırsatlar Stratejileri	Güçlü Yönler/Tehditler Stratejileri
Pazar payını artırma (G1, G4, G5, G6, G8, G10, G11, G12, G13, G16, G17, G18, G19, G20, G21, G22 - F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8)	Sürdürülebilir yerel tedarik zincirleri oluşturma (G1, G2, G3, G4, G5, G6, G7, G9, G10, G11, G13, G14, G15, G19, G20, G22 - T2, T4, T5) Ürün çeşitliliğini ve kalitesini artırma (G6, G9, G10, G16, G18, G19, G22 - T1, T2, T3)
Zayıf Yönler/Fırsatlar Stratejileri	Zayıf Yönler/Tehditler Stratejileri
Dirençli yerel tedarik zincirleri oluşturma (Z12 - F3, F8) Süreç iyileştirmede gelişen teknolojiyi kullanma (Z2, Z4, Z6, Z8, Z10, Z11, Z12 - F9) Süreç iyileştirmede devlet desteklerini kullanma (Z1, Z2, Z3, Z5, Z6, Z7, Z9, Z10, Z11 - F3, F8) İnsan kaynaklarını geliştirme (Z1, Z6, Z9 -F3)	Üretim maliyetlerini düşürme (Z2, Z7, Z10 - T1, T2, T6)

Güçlü Yönler/Fırsatlar Stratejisi

• **Pazar payını artırma stratejisi:** Pandemi ile birlikte literatürde, satın alma süreçlerinde tedarikçilerin dengelenmesi gerektiği, küresel tedarikçilerle birlikte yerel tedarikçilerden de alım yapılması gerektiği belirtilmektedir (Jin, 2004, s. 1292; van Hoek, 2020, s. 349). Bu durum yerel tedarik zincirlerinin pazardaki paylarını artıracaktır. Ülkelerin, işletmelerin ürettikleri ürünlerde yerel parçaların/ bileşenlerin olmasına yönelik uygulamaları yine yerel tedarik zincirlerinin kurulmasını, desteklenmesini, yerel tedarik zinciri üyelerinin kompleks parçaları üretebilme yeteneklerini, pazar paylarını artıracaktır (Natsuda ve ark., 2022, s. 548). Bazı ülkelerde yönetimin vatandaşlarını özellikle gıdada yerel ürünleri tercih etmeleri konusunda teşvik ettikleri görülmektedir (Chambers ve ark., 2007, s. 208; European Committee of the Regions, 2020, s. 19). İşletmeler, ülke içinde üretilen yerli malları almaları durumunda devlet tarafından desteklenebilmektedir. Örneğin Türkiye’de T.C. Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı (KOSGEB) (2017) tarafından verilen desteklerde yerel makinelerin kullanımı tercih edildiğinde verilen destek oranı artmaktadır. Benzer şekilde ithal oranları yüksek olan ürünlerin ülke içinde üretilmesi için KOSGEB (2017)

tarafından destek verilmektedir. Bu tip uygulamalarla birlikte yerel tedarik zincirlerinin küresel tedarik zincirleriyle rekabet edebilme yetenekleri ve pazar payları artacak, bu zincirlerde üretilen ürünlerin kalitelerinin ve standartlara uygunluğunun artması sağlanacaktır (Vandeplas ve Minten, 2015, s. 627; Yadav ve ark., 2018). Ayrıca bu zincirde yer alan üyelerin sayısının artması sağlanacaktır. Bu durum bölgede iş gücü istihdamını ve kalkınmayı arttıracığından göçü de engelleyecektir (Thomas ve Barton, 2007, s. 506).

Güçlü Yönler/Tehditler Stratejileri

• **Sürdürülebilir yerel tedarik zincirleri oluşturma stratejisi:** Sürdürülebilir yerel tedarik zincirleri oluşturularak piyasadaki tehditlerin etkileri azaltılabilir. Yerel tedarik zincirleri yapıları gereği sürdürülebilirliğin süreçlere daha kolay entegre edilebildiği zincirlerdir (Concu, 2023). Yerel tedarik zinciri üyelerinin sürdürülebilir tedarik zincirleri olmaları yönünde bilinçlendirilmeleri, zincirlerde çalışanların eğitimlerinin verilmesi, bu yönde yeteneklerinin gelişmesi sağlanmalıdır (Kudtarkar, 2020). Ayrıca yerel tedarik zincirlerinin sürdürülebilirlik yönündeki çabaları tercih edilebilirliklerini de arttıracaktır.

• **Ürün çeşitliliğini ve kalitesini artırma stratejisi:** Müşteri odaklı mal ve hizmet üretme yerel tedarik zincirlerine olan ilgiyi arttıracaktır (Butu ve ark., 2020, s. 18). Günümüzde ürün çeşitliliğini artırma, yüksek miktarlarda stok tutmayı gerektireceğinden küresel tedarik zincirlerinden yapılacak satın almalar maliyetin artmasına, kalite ile ilgili problemlerin doğmasına sebep olabilecektir (Holweg, Reichhart ve Hong, 2011, s.339). Bu durum yerel tedarik zincirleri için bir avantajdır. Yerel tedarik zincirlerinin çevik (Jin, 2004) ve esnek yapıları (Macchion ve Fornasiero, 2021, s. 301) hızla değişen müşteri isteklerine cevap vermelerini sağlayacaktır (Gyarmathy, Peszynski, ve Young, 2020; Nakandala ve Lau, 2019, s.243). Ayrıca kalite standartlarına uygun yapılan üretimler, üretim maliyetlerinin düşmesini, ürün kalitesinin artmasını sağlayacaktır (Natsuda ve ark., 2022).

Zayıf Yönler/Fırsatlar Stratejileri

• **Dirençli yerel tedarik zincirleri oluşturma stratejisi:** Yerel tedarik zincirlerinin afetlere karşı dirençli hale gelebilmesi için ülkenin yerel tedarik zincirlerine ilişkin destekleri kullanılabilir (Bohnenkamp ve ark., 2020, s. 83). Yerel tedarik zincirlerinin afetlerde etkin bir şekilde çalışmaya devam edebilmeleri için altyapının afetlere karşı hazırlıklı hale getirilmesi, afet sırasında bir kesinti olması durumunda çözüme ilişkin faaliyetlerin nasıl gerçekleştirileceğinin belirlenmesi gerekmektedir (Arvidsson, Johansson ve Guldåker, 2021; Nurre ve ark., 2016; Pfeiffer ve ark., 2017; Ryan ve ark., 2021; Shareef, Dwivedi, Kumar, Hughes ve Raman, 2020, s. 1468). Örneğin, afet öncesinde kent içinde, enerji, haberleşme, ulaşım, içme suyu altyapısı bölgede meydana gelebilecek afet türlerine karşı güçlendirilmeli, yeni yapılacak altyapılarda afetler gözönünde bulundurulmalı, afet sırasında bu yapılarda meydana gelebilecek kesintilerde hangi kurumun, kurumlar arası müdahalenin nasıl yapılacağı, bu yapıların nasıl normale döndürüleceği afete hazırlık planlarında belirtilmelidir (Gerdan, 2019, s.269). Ayrıca bu süreçte örneğin tarım ve gıda tedarik zincirleri gibi kritik tedarik zincirlerinde yer alan çalışanlar için düzenlemeler yapılmalı, çalışan bireylerin sağlık ve güvenlikleri (örneğin pandemi döneminde mevsimlik işçiler, Rusya-Ukrayna Savaşı'nda ise Ukraynalı tarım çalışanları zarar görmüştür) koruma altına alınmalıdır (Çetin ve Yücesoy, 2020, s. 6). Ayrıca ülkede meydana gelecek olan afetlerde öncelikle yerel tedarikçilerin hayata döndürülmesi için Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) gibi, sivil toplum kuruluşlarının da yerel üreticilerle ve yerel tedarikçilerle iletişimde olması sağlanmalıdır (FEMA, 2019, s. 1). Yerel tedarik zincirlerinin esnekliği de önemli konulardan biridir (Thomas ve Barton, 2007, s. 507), olası afetlerde tedarik zincirlerinin esnekliğinin sağlanması için acil durum yöneticilerinin yerel tedarik zincirlerinin faaliyetlerini ve işleyiş şekillerini bilmeleri gerekmektedir (FEMA, 2019, s. 2).

• **Süreç iyileştirmede gelişen teknolojiyi kullanma stratejisi:** Teknolojide meydana gelen gelişmeler tedarik zincirlerinde iyileştirme sağlasa da bu durum yerel tedarik zincirlerinde istenilen düzeye ulaşmamıştır. Bu sebeple yerel tedarik zincirlerinde teknolojinin kullanımı artırılmalı, izlenebilirliğinin sağlanması adına da teknoloji süreçlere dâhil edilmeye çalışılmalıdır (El Khatib, Hammadi, Al Hamar, Oraby ve Abdulaziz, 2022, s. 1075; Kudtarkar, 2020, s. 179). Üretim teknolojilerinde meydana gelen gelişmeler, yerel tedarik zincirlerinde yer alan işletmelerin üretim süreçlerine dâhil edildiğinde, yerelde üretimin, kalitenin, güvenilirliğinin, sürdürülebilirliğinin artması ve maliyetlerin düşmesi sağlanabilecektir (Sarkis, 2020). Örneğin yapılan bir çalışmada, 3D yazıcı teknolojisinin, yerel kaynak kullanımını sağlayarak, parçaların yerelde üretilmesini ve dağıtılmasını ve küresel tedarik zincirleri yerine yerel tedarik zincirlerinin kurulmasını sağlayacak bir teknoloji olarak görüldüğü ifade edilmektedir (Kubáč ve Kodym, 2017, s. 4). Benzer şekilde blockchain teknolojisi yerel tedarik zincirlerinde izlenebilirliği ve işlem verimliliğini arttıracak, olası kesintiler karşısında süreçlerin sürdürülebilirliğini sağlayacak gelişmelerden biridir (Nandi ve ark., 2021, s. 12). Radyo frekans tanımlama (RFID), yerel tedarik zinciri içinde üretilen ürünlerin takibinin yapılmasında kullanılabilir (Nandi ve ark., 2021, s. 14). Robotik sistemler, her ne kadar başlangıç yatırım maliyetleri yüksek olsa da yerel tedarik zincirlerinde üretim süreçlerine dâhil edildiğinde, üretimin verimliliğini, kalitesini arttıracak gelişmelerden biridir (Monaco, Bell ve Nyamwena, 2019, s. 25). Nesnelerin İnterneti, yerel tedarik zincirlerinde önleyici bakımların planlanmasında, akıllı yerel fabrikaların kurulmasında, tarım yerel tedarik zincirlerinde üretime ilişkin değerlerin anlık takip edilmesinde kullanılabilir (Attaran, 2017, s.20-24). Yapay zekâ ve bilişim teknolojileri yerel tedarik zincirlerinde süreçlerin optimizasyonu, verilerin analizi, müşteri ilişkileri yönetimi, süreçlerin anlık takibi için kullanılabilir (Khan ve Prior, 2010, s.166; Kudtarkar, 2020, s. 179-180). Ayrıca bu teknolojiler aracılığıyla yerel tedarik zincirlerinin dijital satış platformlarında ve sosyal medya platformlarında yer almaları sağlanarak müşteri

tarafından bilinirlikleri, erişilebilirlikleri sağlanarak satışları ve rekabet edebilirlikleri artırılabilir (Khan ve Prior, 2010, s.166; Kudtarkar, 2020, s. 179-180). Bu tip akıllı teknolojilerin kullanımı yerel tedarik zincirlerini güçlendirirken, kesintilere karşı dirençli yerel tedarik zinciri olmalarını sağlayacaktır (Modgil, Singh ve Hannibal, 2022, s.1248).

- **Süreç iyileştirmede devlet desteklerini kullanma stratejisi:** Ülkede yöneticiler tarafından, yerel üreticilerin tanıtımının yapılması, desteklenmesi, işletme becerilerinin artırılması, ihracat teşvikleri, vergi indirimleri, istihdam desteği, finansman desteği verilmesi sağlanmalıdır (Bateman, 1998, s. 80; Cvijanović ve ark., 2020, s. 13-14; Ismayilov ve ark., 2008; Kudtarkar, 2020, s. 177). Örneğin Türkiye’de KOSGEB, TKDK (Tarım ve Kırsal Kalkınmayı Destekleme Kurumu), İŞ-KUR (İş ve İşçi Bulma Kurumu), Kalkınma Ajansları gibi kuruluşların süreçte daha aktif rol almaları sağlanmalı, yerel tedarik zinciri üyelerinin de bu kuruluşlardan ve verdikleri desteklerden haberdar olmaları sağlanmalıdır (Gracia, 2014).

- **İnsan kaynaklarını geliştirme stratejisi:** Yerel tedarik zincirinde yer alan çalışanların kalifiye olması, yeteneklerinin geliştirilmesi sağlanmalıdır (Ernst ve Kim, 2002, s. 1428; Kudtarkar, 2020; Pal ve ark., 2018, s. 1164). Üretimde kalite standartlarının uygulanabilmesi için de yerel tedarik zincirinde yer alan üyelere eğitim verilmelidir (Kudtarkar, 2020, s. 177). Burada yerel tedarikçi geliştirme programları önemli rol oynamaktadır (Bateman, 1998, s. 85). Zincirdeki odak firma tedarikçilerinin eğitimine ve gelişmesine yönelik adımlar attığı takdirde tedarikçilerde gelişecektir (Kudtarkar, 2020, s. 177; Natsuda ve ark., 2022, s. 549). Düzenli aralıklarla odak firma tarafından tedarikçilere verilecek kalite kontrol, üretim planlama, paketleme, süreç iyileştirme gibi eğitimler tedarikçinin kendisini ve çalışanlarını geliştirmesini sağlayacaktır.

Zayıf Yönler/Tehditler Stratejisi

- **Üretim maliyetlerini düşürme stratejisi:** Geçmiş yıllarda ithal edilen malların tüketici tarafından satın alma fiyatları ülkede üretilen yerli malların fiyatından daha yüksekken günümüzde birçok üründe durum tam tersidir. Bu da aynı malı yerelde üreten üreticiyi zor durumda bırakmakta, üretim yapmaktan vazgeçirebilmektedir. Bu durum tarım tedarik zincirleri için daha vahim durumdadır. Örneğin Türkiye’de insanların özellikle tarımda üretilen malların maliyetlerini karşılamaması, üreticinin yerine aracının daha çok kâr etmesi gibi sebeplerden üretimden vazgeçip, verimli toprakları betonarme yapılara yönlendirmeleri söz konusudur. Bu aşamada, yerel tedarik zincirlerinde; hammadde, işçilik, enerji maliyetlerini düşürecek teknikler uygulanarak, maliyetler düşürülebilir, küresel tedarik zincirleri ile rekabet edebilme yeteneği geliştirilebilir, yerel tedarik zincirlerinin tercih edilebilirliği artırılabilir, ekonomik krizlerden daha az etkilenme sağlanabilir. Güçlü yerel tedarik zincirlerinin varlığı, ülkeye yatırımların gelmesini ve işletmelerin küresel tedarik zincirlerinin parçası olmasını sağlayabilir. Yerel tedarik zincirlerinde yaşanan gelişmeler sayesinde başka ülkelerde üretim yapan işletmelerin kendi ülkelerine dönme ihtimali de doğacaktır (Pegoraro, De Propriis ve Chidlow, 2022).

Her ülkenin tarımdan mal üretimine kadar, hammadde veya doğal kaynaklar gibi üretim faktörlerinin tamamına ve adil şekilde sahip olmadığı düşünüldüğünde yerel tedarik zincirlerine tamamen dönmenin mümkün olmadığı söylenebilir. Ayrıca yerel tedarik zincirlerine dönmek hem ülkeler hem de işletmeler açısından kolay olmayacaktır. Örneğin su kaynaklarının tükenmesinden bahsettiğimiz, toprağın verimliliğinin geçmiş yıllardaki gibi olmadığı birçok ülkede tarıma dayalı ekonomiler tekrar oluşturulabilir mi, üretim maliyetleri düşürülebilir mi ya da üreticiler üretim için ikna edilebilir mi gibi konuların hepsi belirsizlik içermektedir. Ancak uzun vadede, meydana gelen küresel boyuttaki olayların, afetlerin, bireylerin yönelimlerinin ve siyasi ilişkilerin yerel tedarik zincirlerini güçlendireceği (Frikkee, 2020) ve “bölgeselcilik akıllılık” olduğu (Feagan, 2007, s. 23) unutulmamalıdır. Uluslararası düzeyde yaşanan sorunlar sebebiyle, yakın gelecekte yerel tedarik zincirlerine olmasa bile bölgesel tedarik zincirlerinin hâkim bir tedarik zinciri düzeninin bizi beklediği düşünülmektedir (Kalkan ve ark., 2021, s. 19; Kılıçlı, 2022).

Durumun -şimdilik- çoğunlukla afetlerde de kritik süreçlerden biri olan gıda ve tarım yerel tedarik zincirlerinde tartışıldığı görülmektedir (Barska ve Wojciechowska-Solis, 2020; Cvijanović ve ark., 2020; Çetin ve Yücesoy, 2020; European Committee of the Regions, 2020; Feagan, 2007; Gracia, 2014; Feyaerts, Van den Broeck ve Maertens 2019; Khan ve Prior, 2010; Selfa ve Qazi, 2005; Umar ve Wilson, 2021, s. 1). Gelecekte birçok ürün için oluşturulan tedarik zincirlerinde de durumun benzer olacağı düşünülmektedir. Bu sebeple az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde hem genel olarak hem de meydana gelebilecek afetlere daha hızlı müdahale edebilmek ve afetlerin sonuçlarından daha az etkilenmek adına; bağımlılıkları azaltmak, coğrafyanın sunduğu imkânları değerlendirmek, bu imkânları genişletmek, ilerletmek, yerel tedarik zincirlerini dirençli duruma getirmek, varlıklarını korumak gerekmektedir (Ishida, 2020, s. 148). Tanpınar’ın da söylediği gibi, “Coğrafya kaderdir. Bu demektir ki bunun gereklerini kabul etmek, ona ayak uydurmak şartıyla onunla iyi kötü uzlaşılabilir. Fakat bu şartları büsbütün unutanlar için perişanlık mukadderdir.” (Tanpınar, 2000, s. 78’den akt. Bal, 2018, s. 312).

5. SONUÇ

Elde edilen bilgiler değerlendirildiğinde, yerel tedarik zincirlerinin afet döngüsü kapsamında her aşamada yer alan bir kavram olduğunu görmektedir. Her ne kadar afetlerin yapısı gereği öncelik parasal değer olmasa da (Larson, 2012, s.4), afet döngüsü aşamalarına yerel tedarik zincirleri dahil edildiğinde zaman ve para tasarrufu yapılabilecek, kaynaklar diğer faaliyetlerde kullanılabilir (Lewin ve ark., 2018, s. 521). Yerel tedarik zincirlerinin SWOT analizinde, yirmi iki güçlü yön, on iki zayıf yön, dokuz fırsat ve altı tehdit maddesi tespit edilmiş, TOWS matrisi ile yerel tedarik zincirlerini güçlendirmek adına sekiz strateji

belirlenmiştir. Güçlü yönler- Fırsatlar stratejisi olarak pazar payını artırma stratejisi, Güçlü yönler-Tehditler stratejileri olarak sürdürülebilir yerel tedarik zincirleri oluşturma stratejisi ve ürün çeşitliliğini ve kalitesini artırma stratejisi belirlenmiştir. Zayıf yönler-Fırsatlar stratejileri olarak dirençli yerel tedarik zincirleri oluşturma stratejisi, süreç iyileştirmede gelişen teknolojiyi kullanma stratejisi, süreç iyileştirmede devlet desteklerini kullanma stratejisi, insan kaynaklarını geliştirme stratejisi belirlenmiştir. Zayıf yönler-Tehditler stratejisi olarak üretim maliyetlerini düşürme stratejisi belirlenmiştir.

Çalışma, literatürden elde edilen bilgiler ve yazarın değerlendirmeleriyle sınırlıdır. Çalışmanın kendi kendine yetebilme kabiliyetine sahip olan ancak bir diğer tarafta da başta deprem gibi afetlere gebe olan ülkemizde yerel tedarik zincirleri hakkında yapılacak çalışmalar için bir başlangıç noktası olacağı düşünülmektedir. Gelecek çalışmalara, başta 6 Şubat depreminden etkilenen illerde bulunan yerel tedarik zincirlerinin sektör ayrımlarının yapılarak (örn. meyve, sebze, pamuk yerel tedarik zincirleri) SWOT analizlerinin yapılması, güçlendirilmesine yönelik stratejilerin belirlenmesi için TOWS matrislerinin hazırlanması, süreçlerinde hangi iyileştirmelerin yapılabileceğinin tespit edilmesi, süreç iyileştirme çalışmalarının yapılarak gerçek hayatta uygulamaya geçirilmesi önerilmektedir. Bu sayede akademi-sanayi işbirliği gerçekleştirilerek yerelde kalkınmaya katkı sağlanmış olacaktır. Ayrıca sürdürülebilir yerel tedarik zincirlerinin oluşturulmasına yönelik odak firma temelli çalışmalar yapılması önerilmektedir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazar çıkar çatışması beyan etmemişlerdir.

Finansal Destek: Yazar finansal destek beyan etmemişlerdir.

Teşekkür: Bir zamanlar her şeyin en güzelinin üretildiği Hatay'a.

Peer Review: Externally peer-reviewed.

Conflict of Interest: Author declared no conflict of interest.

Financial Disclosure: Author declared no financial support.

Acknowledgement: To Hatay where the best have been produced once.

Yazarın ORCID ID'si / ORCID ID of the author

İpek Özenir 0000-0002-0684-0938

KAYNAKLAR / REFERENCES

- Annala, L. (2010). *Supply networks and supplier relationships in purchasing supplies from local markets in disaster relief-Two case studies from the disaster relief environment* (Master's thesis). Aalto University School of Science and Technology Faculty of Information and Natural Sciences Information Networks Degree Programme
- Arvidsson, B., Johansson, J., ve Guldåker, N. (2021). Critical infrastructure, geographical information science and risk governance: A systematic cross-field review. *Reliability Engineering & System Safety*, 213, 107741. <https://doi.org/10.1016/j.res.2021.107741>
- Ashby, A. (2016). From global to local: Reshoring for sustainability. *Operations Management Research*, 9, 75-88. <https://doi.org/10.1007/s12063-016-0117-9>
- Attaran, M. (2017). The internet of things: Limitless opportunities for business and society. *Journal of Strategic Innovation and Sustainability Vol, 12*(1), 10-29.
- Bal, S. (2018). Gün Olur Asra Bedel Romanı İle Bozkurtlar Romanında Mekân Olarak Bozkır. *Uluslararası Beşeri Bilimler ve Eğitim Dergisi*, 4(8), 307-322.
- Balanda, K., Ariatti, A., Monaghan, L., ve Dissegna, C. (2022). The role of the local supply chain in the development of floating offshore wind power. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1073, 1-8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1073/1/012010>
- Balcik, B., Beamon, B. M., Krejci, C. C., Muramatsu, K. M., ve Ramirez, M. (2010). Coordination in humanitarian relief chains: Practices, challenges and opportunities. *International Journal of Production Economics*, 126(1), 22-34. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.09.008>
- Banda, G., Mugwagwa, J., Wanjala, C., Mackintosh, M., ve Kale, D. (2021). Local manufacturing, local supply chains and health security in Africa: lessons from COVID-19. *BMJ Global Health*, 6(6), e006362. <http://dx.doi.org/10.1136/bmjgh-2021-006362>
- Barska, A., ve Wojciechowska-Solis, J. (2020). E-consumers and local food products: A perspective for developing online shopping for local goods in Poland. *Sustainability*, 12(12), 4958, 1-17. <https://doi.org/10.3390/su12124958>
- Bateman, M. (1998). Local supply chain development in the transition economies: the case of Kazakhstan. *Supply Chain Management: An International Journal*, 3(2), 79-88. <https://doi.org/10.1108/13598549810215397>
- Beamon, B. M., ve Balcik, B. (2008). Performance measurement in humanitarian relief chains. *International Journal of Public Sector Management*, 21(1), 4-25. <https://doi.org/10.1108/09513550810846087>
- Benzaghta, M. A., Elwalda, A., Mousa, M. M., Erkan, I., ve Rahman, M. (2021). SWOT analysis applications: An integrative literature review. *Journal of Global Business Insights*, 6(1), 55-73. <https://www.doi.org/10.5038/2640-6489.6.1.1148>
- Bohnenkamp, T., Schiele, H., ve Visser, M. D. (2020). Replacing global sourcing with deep localisation: the role of social capital in building

- local supply chains. *International Journal of Procurement Management*, 13(1), 83-111. <https://doi.org/10.1504/IJPM.2020.105200>
- Butu A, Brumă IS, Tanasă L, Rodino S, Dinu Vasiliu C, Doboş S. ve Butu M. (2020). The impact of Covid-19 crisis upon the consumer buying behavior of fresh vegetables directly from local producers. case study: The quarantined area of suceava county, Romania. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(15):5485, 1-24. <https://doi.org/10.3390/ijerph17155485>
- Cagliano, R., Caniato, F., Golini, R., Kalchschmidt, M., ve Spina, G. (2008). Supply chain configurations in a global environment: A longitudinal perspective. *Operations Management Research*, 1, 86-94. <https://doi.org/10.1007/s12063-008-0012-0>
- Chambers, S., Lobb, A., Butler, L., Harvey, K., ve Traill, W. B. (2007). Local, national and imported foods: A qualitative study. *Appetite*, 49(1), 208-213. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2007.02.003>
- Choi, T. Y., Narayanan, S., Novak, D., Olhager, J., Sheu, J. B., ve Wiengarten, F. (2021). Managing extended supply chains. *Journal of Business Logistics*, 42(2), 200-206. <https://doi.org/10.1111/jbl.12276>
- Chopra, S. (2003). Designing the distribution network in a supply chain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 39(2), 123-140. [https://doi.org/10.1016/S1366-5545\(02\)00044-3](https://doi.org/10.1016/S1366-5545(02)00044-3)
- Cvijanović, D., Ignjatijević, S., Vapa Tankosić, J., ve Cvijanović, V. (2020). Do local food products contribute to sustainable economic development?. *Sustainability*, 12(7), 2847, 1-18. <https://doi.org/10.3390/su12072847>
- Concu, G. (2023). Feasibility of a Local production Chain for structural timber in Sardinia, Italy. *Sustainability*, 15(20), 14815, 1-15. <https://doi.org/10.3390/su152014815>
- Çolakoğlu, O. E. ve Topsakal, Y. (2023). Uluslararası Firmaların İş/Yatırım Yapma Potansiyeli. *Türkiye Turizm Zirvesi Çalıştay Raporları*, 135-139.
- Çetin, M., ve Yücesoy, A. (2020). COVID-19 sürecinde AB ve Türkiye'nin tarım politikalarına yeniden bakış. *Yeni Türkiye Dergisi*, 113, 1-12.
- Dewick, P., Hofstetter, J. S., ve Schröder, P. (2021). From panic to dispassionate rationality—Organizational responses in procurement after the initial COVID-19 pandemic peak. *IEEE Engineering Management Review*, 49(2), 45-56. <https://doi.org/10.1109/EMR.2021.3079630>
- Doherty, B., Benton, T. G., Fastoso, F. J., ve Gonzalez Jimenez, H. (2017). British food-what role should UK food producers have in feeding the UK?. *White Rose Research Online*. Retrieved from: <https://eprints.whiterose.ac.uk/112876/>
- Douglas, I. (2009). Climate change, flooding and food security in south Asia. *Food Security*, 1, 127-136. <https://doi.org/10.1007/s12571-009-0015-1>
- Duran, S., Ergun, Ö., Keskinocak, P., ve Swann, J. L. (2013). Humanitarian logistics: advanced purchasing and pre-positioning of relief items. J. H. Bookbinder (Ed.), *Handbook of Global Logistics: Transportation in International Supply Chains* içinde (s. 447-462), New York: Springer.
- Eftekhar, M., Jeannette Song, J. S., ve Webster, S. (2022). Prepositioning and local purchasing for emergency operations under budget, demand, and supply uncertainty. *Manufacturing & Service Operations Management*, 24(1), 315-332. <https://doi.org/10.1287/msom.2020.0956>
- El Khatib, M., Al Hammadi, A., Al Hamar, A., Oraby, K., ve Abdulaziz, M. (2022). How global supply chain management is disrupting local supply chain management case of oil and gas industry in UAE. *American Journal of Industrial and Business Management*, 12(5), 1067-1078. <https://doi.org/10.4236/ajibm.2022.125056>
- Enthoven, L., Skambracks, M., ve Van den Broeck, G. (2023). Improving the design of local short food supply chains: Farmers' views in Wallonia, Belgium. *Journal of Rural Studies*, 97, 573-582. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2023.01.016>
- Ernst, D., ve Kim, L. (2002). Global production networks, knowledge diffusion, and local capability formation. *Research Policy*, 31(8-9), 1417-1429. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00072-0](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00072-0)
- Errett, N. A., Tanner, A., Shen, X., ve Chang, S. E. (2019). Understanding the impacts of maritime disruption transportation to hospital-based acute health care supplies and personnel in coastal and geographically isolated communities. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 13(3), 440-448. <https://doi.org/10.1017/dmp.2018.64>
- European Committee of the Regions (2020). *Opinion of the European Economic and Social Committee on 'Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A From Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system' (COM(2020) 381)*. Brussels
- Falasca, M., ve Zobel, C. W. (2011). A two-stage procurement model for humanitarian relief supply chains. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 1(2), 151-169. <https://doi.org/10.1108/20426741111188329>
- Feyaerts, H., Van den Broeck, G., ve Maertens, M. (2020). Global and local food value chains in Africa: A review. *Agricultural Economics*, 51(1), 143-157. <https://doi.org/10.1111/agec.12546>
- Feagan, R. (2007). The place of food: mapping out the 'local'in local food systems. *Progress in Human Geography*, 31(1), 23-42. <https://doi.org/10.1177/0309132507073527>
- FEMA (2019). *Supply chain resilience guide*. USA: Homeland Security.
- Franklin, C., ve Todt, K. (2014). Community resiliency through recovery resource supply chain planning. *Journal of Business Continuity & Emergency Planning*, 7(3), 193-204. Erişim adresi:<https://www.ingentaconnect.com/content/hsp/jbcep/2014/00000007/00000003/art00003>
- Frikkee, T. (2020, 12 May). Covid-19 crisis has laid bare weaknesses in supply chains. *Financial Times*. Erişim adresi: <https://www.ft.com/content/9bb6939d-6a31-4a33-bb62-ecbf74da8491>
- Galatti, L. G., ve Baruque-Ramos, J. (2019). Brazilian potential for circular fashion through strengthening local production. *SN Applied Sciences*, 1(11), 1439. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1487-z>
- Gerdan, S. (2019). Yerel yönetimlerde afet zararlarının azaltılması çalışmalarına genel bir bakış. *The Journal of Social Science*, 3(5), 267-276.
- Golija, M. G. (2023). Radically local supply chains through territorial brands: Insights from the 100% Local project. *Acta Geographica Slovenica*, 63(1), 23-34. <https://doi.org/10.3986/AGS.10581>
- Gracia, A. (2014). Consumers' preferences for a local food product: a real choice experiment. *Empirical Economics*, 47, 111-128.

- <https://doi.org/10.1007/s00181-013-0738-x>
- Gyarmathy, A., Peszynski, K., ve Young, L. (2020). Theoretical framework for a local, agile supply chain to create innovative product closer to end-user: Onshore-offshore debate. *Operations and Supply Chain Management: An International Journal*, 13(2), 108-122. <https://doi.org/10.31387/OSCM0410256>
- Holweg, M., Reichhart, A., ve Hong, E. (2011). On risk and cost in global sourcing. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 333-341. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.003>
- Ishida, S. (2020). Perspectives on supply chain management in a pandemic and the post-COVID-19 era. *IEEE Engineering Management Review*, 48(3), 146-152. <https://doi.org/10.1109/EMR.2020.3016350>
- Ismayilov, I., Taghiyev, S., Godunova, O., ve Mirmotahari, F. (2008). Developing the local supply chain for the contract of the century. *Development Outreach*, 10(2), 24-26. https://doi.org/10.1596/1020-797X-10_2_24
- Jin, B. (2004). Achieving an optimal global versus domestic sourcing balance under demand uncertainty. *International Journal of Operations & Production Management*, 24(12), 1292-1305. <https://doi.org/10.1108/01443570410569056>
- Kalkan, P. K., Özkan, E., ve Karadoğan, D. (2021). Covid-19 Pandemi Sürecinde Tedarik Zinciri Direnci. *Journal Of Pure Social Sciences (Puresoc)-Pak Sosyal Bilimler Dergisi (Paksos)*, 2(3), 10-22.
- Kamble, S., Belhadi, A., Gupta, S., Islam, N., Verma, V. K., ve Solima, L. (2023). Analyzing the barriers to building a 3-D printing enabled local medical supply chain ecosystem. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 1-18. <https://doi.org/10.1109/TEM.2022.3226658>
- Karlı, H., ve Tanyaş, M. (2020). Pandemi durumunda tedarik zinciri risk yönetimine ilişkin öneriler. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(37), 174-190.
- Khan, F., ve Prior, C. (2010). Evaluating the urban consumer with regard to sourcing local food: a Heart of England study. *International Journal of Consumer Studies*, 34(2), 161-168. <https://doi.org/10.1111/j.1470-6431.2009.00836.x>
- Kılıçlı, Ş. (2022, 3 Haziran). Tedarıkte kritik virajı dönen kazanacak. *İstanbul Ticaret Gazetesi*, 10.
- Kovács, G., Matopoulos, A., ve Hayes, O. (2010). A community-based approach to supply chain design. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 13(5), 411-422. <https://doi.org/10.1080/13675567.2010.511609>
- Kubáč, L., ve Kodym, O. (2017). The impact of 3D printing technology on supply chain. *MATEC Web of Conferences*, 134, 1-8. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201713400027>
- Kudtarkar, S. G. (2020). Developing sustainable world class local supply chain ecosystem in India during the corona pandemic. *Journal of Economics, Finance and Management Studies*, 3(11), 173-182. <https://doi.org/10.47191/jefms/v3-i11-03>
- Kunz, N., ve Gold, S. (2017). Sustainable humanitarian supply chain management—exploring new theory. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 20(2), 85-104. <https://doi.org/10.1080/13675567.2015.1103845>
- Kwon, I. W., ve Kim, S. H. (2018). Humanitarian supply chain/logistics: roadmap to effective relief effort. *Journal of International & Interdisciplinary Business Research*, 5(1), 95-109. <http://doi.org/10.58809/YQXZ7481>
- Larson, P. D. (2012). Strategic partners and strange bedfellows: Relationship building in the relief supply chain. G.Kovács & K. M. Spens (Eds.), *Relief Supply Chain Management for Disasters: Humanitarian Aid and Emergency Logistics* içinde (s. 1-15). USA: IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-2625-6.ch069>
- Leigh, D. (2009). SWOT analysis. *Handbook of Improving Performance in the Workplace: Volumes 1-3*, 115-140. <https://doi.org/10.1002/9780470592663.ch24>
- Lewin, R., Besiou, M., Lamarche, J. B., Cahill, S., ve Guerrero-Garcia, S. (2018). Delivering in a moving world. . . looking to our supply chains to meet the increasing scale, cost and complexity of humanitarian needs. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 8(4), 518-532. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-10-2017-0048>
- Levy, D. L. (1997). Lean Production in an International Supply Chain. *MIT Sloan Management Review*, 38(2), 94-102. Erişim adresi: <https://sloanreview.mit.edu/article/lean-production-in-an-international-supply-chain/>
- Liangrokaptart, J., ve Sittiwatethanasiri, T. (2023). Strategic direction for aviation maintenance, repair, and overhaul hub after crisis recovery. *Asia Pacific Management Review*, 28(2), 81-89. <https://doi.org/10.1016/j.apmrv.2022.03.003>
- Macchion, L., ve Fornasiero, R. (2021). Global–local supply chain configurations for different production strategies: a comparison between traditional and customized productions. *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*, 25(2), 290-309. <https://doi.org/10.1108/JFMM-12-2019-0269>
- Maon, F., Lindgreen, A., ve Vanhamme, J. (2009). Developing supply chains in disaster relief operations through cross-sector socially oriented collaborations: A theoretical model. *Supply Chain Management: An International Journal*, 14(2), 149-164. <https://doi.org/10.1108/13598540910942019>
- Manolică, A. ve Roman, T. (2012). Globalisation – Advantages and disadvantages from the perspective of the manufacturer. *CES Working Papers*, 4(4), 747-757. Erişim adresi: <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=249110>
- Marsh, J., Ryan, M., ve Soroka, A. (2016). Opportunities for sustainable local supply chains: An exploratory study of Welsh manufacturing companies. *InImpact: The Journal of Innovation Impact*, 8(2), 656-667. Erişim adresi: <https://nimbusvault.net/publications/koala/inimpact/557.html>
- Martirena, F., ve Olivera, A. (2006). Sustainable disaster mitigation: Ecomaterials in reconstruction projects in Cuba. *Open House International*, 31(1), 23-30. <https://doi.org/10.1108/OHI-01-2006-B0003>
- Matopoulos, A., Kovács, G., ve Hayes, O. (2014). Local resources and procurement practices in humanitarian supply chains: An empirical examination of large-scale house reconstruction projects. *Decision Sciences*, 45(4), 621-646. <https://doi.org/10.1111/dec.12086>
- Modgil, S., Singh, R. K., ve Hannibal, C. (2022). Artificial intelligence for supply chain resilience: learning from Covid-19. *The International Journal of Logistics Management*, 33(4), 1246-1268. <https://doi.org/10.1108/IJLM-02-2021-0094>
- Monaco, L., Bell, J., ve Nyamwena, J. (2019). Understanding technological competitiveness and supply chain deepening in plastic auto

- components in Thailand: Possible lessons for South Africa. *CCRED Working Paper No. 1/2019*. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3384027>
- Nakandala, D., ve Lau, H. C. (2019). Innovative adoption of hybrid supply chain strategies in urban local fresh food supply chain. *Supply Chain Management: An International Journal*, 24(2), 241-255. <http://dx.doi.org/10.1108/SCM-09-2017-0287>
- Nandi, S., Sarkis, J., Hervani, A. A., ve Helms, M. M. (2021). Redesigning supply chains using blockchain-enabled circular economy and COVID-19 experiences. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 10-22. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.019>
- Natsuda, K., Sass, M., ve Csonka, L. (2022). Developing a local supply chain network: The case of Magyar Suzuki in Hungary. *Acta Oeconomica*, 72(4), 531-552. <https://doi.org/10.1556/032.2022.00034>
- Niemi, P., ve Pekkanen, P. (2016). Estimating the business potential for operators in a local food supply chain. *British Food Journal*, 118(11), 2815-2827. <https://doi.org/10.1108/BFJ-03-2016-0086>
- Nurre, S. G., Sharkey, T. C., ve Mitchell, J. E. (2016). Increasing the resiliency of local supply chain distribution networks against multiple hazards. Z. Liang, W. A. Chaovalitwongse, L. Shi (Eds.), *Supply chain management and logistics: Innovative strategies and practical solutions* içinde (s. 87-122). London: CRC Press.
- Özenir, İ. (2021). Lojistik modlarının geleceği: Yeni nesil araçlar. Y. Tatlı (Ed.), *Çağdaş lojistik yönetimi* içinde (s. 39-68). İstanbul: Eğitim Yayınevi.
- Pal, R., Harper, S., ve Vellesalu, A. (2018). Competitive manufacturing for reshoring textile and clothing supply chains to high-cost environment: A Delphi study. *The International Journal of Logistics Management*, 29(4), 1147-1170. <https://doi.org/10.1108/IJLM-10-2017-0270>
- Pan American Health Organization (PAHO) (2001). *Humanitarian supply management and logistics in the health sector*. Washington D.C.: Pan American Health Organization.
- Pegoraro, D., De Propriis, L., ve Chidlow, A. (2022). Regional factors enabling manufacturing reshoring strategies: A case study perspective. *Journal of International Business Policy*, 5(1), 112-133. <https://doi.org/10.1057/s42214-021-00112-x>
- Pfeiffer, K. B., Burdi, C., ve Schlueter, S. (2017). Local supply chains: The disaster management perspective. *Int. J. of Safety and Security Eng*, 7(3), 399-405. <https://doi.org/10.2495/SAFE-V7-N3-399-405>
- Piotrowicz, W. D. (2018). In-kind donations, cash transfers and local procurement in the logistics of caring for internally displaced persons: The case of Polish humanitarian NGOs and Ukrainian IDPs. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 8(3), 374-397. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-11-2017-0060>
- Ravanavar, G. M., ve Charantimath, P. M. (2012). Strategic formulation using tows matrix—A case study. *International Journal of Research and Development*, 1(1), 87-90.
- Rodríguez, D., Laverde, M., ve Pérez, E. (2021). Short commercialization circuits in local supply chains: Economic revival in the pandemic. *South Asian Journal of Social Studies and Economics*, 12(2), 1-10. <https://doi.org/10.9734/SAJSSE/2021/v12i230299>
- Roh, S., ve Kim, C. S. (2016). Comment: Humanitarian relief logistics: Pre-positioning warehouse strategy, *KMI International Journal of Maritime Affairs and Fisheries*, 8(2), 1-17. <https://doi.org/10.54007/ijmaf.2016.8.2.1>
- Roy, S., Paul, A., Paul, A., Kashyap, S., ve Jana, A. (2021). Ranking barriers of supply chain management by MCDM method during disaster management: A case study of India. *International Journal of System Dynamics Applications (IJSDA)*, 10(2), 1-16. <https://doi.org/10.4018/IJSDA.2021040101>
- Ryan, S. M., Roberts, E., Hibbett, E., Bloom, N., Haden, C., Rushforth, R. R., ... Ruddell, B. L. (2021). The FEWSION for community resilience (F4R) process: building local technical and social capacity for critical supply chain resilience. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 601220. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.601220>
- Sabri, Y., Micheli, G. J., ve Nuur, C. (2017). How do different supply chain configuration settings impact on performance trade-offs?. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 26(1), 34-56. <https://doi.org/10.1504/IJLSM.2017.080628>
- Sarkis, J. (2020). Supply chain sustainability: learning from the COVID-19 pandemic. *International Journal of Operations & Production Management*, 41(1), 63-73. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2020-0568>
- Schiffing, S., ve Hughes, K. (2017, July). *Sourcing in humanitarian logistics: local, regional, and global approaches*. European Operations Management Association Annual Conference, Heriot-Watt, Edinburgh.
- Selfa, T., ve Qazi, J. (2005). Place, taste, or face-to-face? Understanding producer–consumer networks in “local” food systems in Washington State. *Agriculture and Human Values*, 22, 451-464. <https://doi.org/10.1007/s10460-005-3401-0>
- Shareef, M. A., Dwivedi, Y. K., Kumar, V., Hughes, D. L., ve Raman, R. (2020). Sustainable supply chain for disaster management: Structural dynamics and disruptive risks. *Annals of Operations Research*, 1451-1475. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03708-3>
- Skoglund, P., ve Hertz, S. (2012). Local sourcing in peacekeeping: a case study of Swedish military sourcing. G.Kovács & K. M. Spens (Eds.), *Relief Supply Chain Management for Disasters: Humanitarian, Aid and Emergency Logistics* içinde (s. 103-122). USA: IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-60960-824-8.ch007>
- Soto-Mendoza, V., Ruiz-y-Ruiz, E., García-Calvillo, I., Nucamendi-Guillén, S., ve Cardona-Valdés, Y. (2023). A location-routing problem for local supply chains. *Computers & Industrial Engineering*, 183, 109528. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109528>
- Tate, W. L. (2014). Offshoring and reshoring: US insights and research challenges. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 20(1), 66-68. <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2014.01.007>
- Taylor, D. H. (2012). The application of value chain analysis for the evaluation of alternative supply chain strategies for the provision of humanitarian aid to Africa. G.Kovács & K. M. Spens (Eds.), *Relief Supply Chain Management for Disasters: Humanitarian, Aid and Emergency Logistics* içinde (s. 68-89). USA: IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-2625-6.ch069>
- T.C. Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı (KOSGEB) (2017). KOSGEB'den Yerli ve Milli Üretime Büyük Destek <https://www.kosgeb.gov.tr/site/tr/genel/detay/6489/kosgebtan-yerli-ve-milli-olana-buyuk-destek> Erişim tarihi:04.02.2024
- Thomas, A., ve Barton, R. (2007). Integrating local suppliers in a global supply network. *Journal of Manufacturing Technology Management*,

- 18(5), 490-512. <https://doi.org/10.1108/17410380710752626>
- Tongko, M. H., (2022). *Supply chain resiliency: A case of Musashimurayama City, Tokyo prefecture, Japan*. (Graduate Research Paper, Air Force Institute of Technology, Ohio). Retrieved from <https://apps.dtic.mil/sti/citations/trecms/AD1173049>
- Umar, M., ve Wilson, M. (2021). Supply chain resilience: Unleashing the power of collaboration in disaster management. *Sustainability*, 13(19), 10573, 1-20. <https://doi.org/10.3390/su131910573>
- Vandeplas, A., ve Minten, B. (2015). Food quality in domestic markets of developing economies: A comparative study of two countries. *Agricultural Economics*, 46(5), 617-628. <https://doi.org/10.1111/agec.12158>
- van Hoek, R. (2020). Research opportunities for a more resilient post-COVID-19 supply chain—closing the gap between research findings and industry practice. *International Journal of Operations & Production Management*, 40(4), 341-355. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-03-2020-0165>
- van Kempen, E. A., Spiliotopoulou, E., Stojanovski, G., ve De Leeuw, S. (2017). Using life cycle sustainability assessment to trade off sourcing strategies for humanitarian relief items. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22, 1718-1730. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1245-z>
- Viğrova, Z. (2020). Supply chain management in the aspect of globalization. T. Kliestik (Ed.), *SHS Web of Conferences The 19th International Scientific Conference Globalization and its Socio-Economic Consequences 2019 – Sustainability in the Global-Knowledge Economy* içinde (s. 1-10). Fransa: EDP Sciences
- Wang, H., Hubbard, B.J., ve Hubbard, S. (2014). RFID Applied to supply chain logistics in disaster recovery. R. R. Rapp & W. Harland (Eds.), *The Proceedings of the 10th International Conference of the International Institute for Infrastructure Resilience and Reconstruction (I3R2)* içinde (s. 207-211). West Lafayette, Indiana: Purdue University.
- Weihrich, H. (1982). The TOWS matrix—A tool for situational analysis. *Long range planning*, 15(2), 54-66.
- Wood, D. F., Barone, A., Murphy, P., Wardlow, D. L., Wood, D. F., Barone, A., ... Wardlow, D. L. (1995). Logistics of famine relief. *International Logistics*, 325-338. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2085-6_15
- Wu, Y. (2020). The marketing strategies of IKEA in China using tools of PESTEL, five forces model and SWOT analysis. S. B. Tsai.(Ed.), *International Academic Conference on Frontiers in Social Sciences and Management Innovation (IAFSM 2019)* içinde (s. 348-355). China: Atlantis Press.
- Xing, M. (2015). *The impact of a strong local supply chain on regional economic impacts of mining* (Masters Thesis). Retrieved from https://scholarsmine.mst.edu/masters_theses/7486
- Xu, Z., Elomri, A., Kerbache, L., ve El Omri, A. (2020). Impacts of COVID-19 on global supply chains: Facts and perspectives. *IEEE Engineering Management Review*, 48(3), 153-166. <https://doi.org/10.1109/EMR.2020.3018420>
- Yadav, P., Alphas, S., D’Souza, C., Comstock, G., ve Barton, I. (2018). Local sourcing and supplier development in global health: Analysis of the supply chain management system’s local procurement in 4 countries. *Global Health: Science and Practice*, 6(3), 574-583. <https://doi.org/10.9745/GHSP-D-18-00083>
- Yueh, L. (2020, April 27). Localisation of production: COVID-19’s medium-term impact. Development Matters. [Web page]. Retrieved from <https://oecd-development-matters.org/2020/04/27/localisation-of-production-covid-19s-medium-term-impact/>
- Zepeda, L., ve Leviten-Reid, C. (2004). Consumers’ views on local food. *Journal of Food Distribution Research*, 35(3), 1-6. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.27554>

Atf Biçimi / How cite this article

Özenir, İ. (2024). Local Supply Chains and Disasters: The Importance of Local Supply Chains. *Journal of Transportation and Logistics* 9(1), 139-152. <https://doi.org/10.26650/JTL.2024.1402924>

Yalın Lojistik Üzerine Bibliyometrik Bir Analiz: WOS Veri Tabanı (1994-2022)

Biometric Analysis on Lean Logistics: WOS Database (1994 –2022)

Handan Öztemiz¹ 

¹(Res. Assist. Dr.), Zonguldak Bülent Ecevit University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of International Trade and Business Administration, Zonguldak, Türkiye

ÖZ

Yalın lojistik, maliyetleri optimize etmesi nedeniyle kritik bir tedarik zinciri yönetimi (TZY) stratejisidir. Gereksiz maliyetlerden kaçınmak, TZY’nde her zaman önemli hedeflerden biri olmuştur. Bu nedenle alanda hem uygulayıcılar hem de akademisyenler sıklıkla çalışma ve araştırma yapmaktadır. 1990 sonrası çok işletmeli ve çok aktörlü bir yönetim tarzı olarak önem kaydeden TZY’nde yalın lojistik kavramının nasıl ele alındığının belirlenmesi, literatürdeki boşlukların ve fırsatların tespit edilmesi geleceğin araştırmacıları için önemlidir. Bu çalışmada, 1994-2022 dönemi için yalın lojistik üzerine yayınlanmış akademik makalelerin kapsamlı bir bibliyometrik analizi sunulmaktadır. R Studio-Biblioshiny yazılımı, Web of Science (WoS) veri tabanından “yalın lojistik” anahtar kelimesi kullanılarak ulaşılan 559 yalın lojistik dokümanın ortak atf analizini gerçekleştirmek için kullanılmıştır. Bu araştırma, en etkili yalın lojistik araştırma yayınlarını/alıntıları ve bunların araştırma katkıları ortaya koymaktadır. Analiz sonucunda, alandaki ana araştırma temaları, bilgi grupları, anahtar kelimeler, ülke ve yazar üretkenliği, yazar ve ülkeler iş birliği, makaleler ve kaynaklar arasındaki ortak atf ağı analizi elde edilmiştir. Yalın lojistikteki büyük resim, gelecekteki araştırmacılar için kısaca özetlenmiştir.

ABSTRACT

Lean logistics optimizes costs, making it a critical supply chain management (SCM) strategy. Avoiding unnecessary costs has been one of the most essential objectives in SCM, making it a primary field of focus for practitioners and academics. After 1990, future researchers aimed to determine how SCM, which has gained importance as a multienterprise and multiactor management style, can handle lean logistics and identify gaps and opportunities in the literature. This study presents a comprehensive bibliometric analysis of academic articles published on lean logistics in 1994–2022. RStudio-Biblioshiny software was used to perform a cocitation analysis of 559 lean logistics documents retrieved from the Web of Science database, using “lean logistics” as a keyword. This research reveals the most influential lean logistics research publications/citations and their research contributions. The analysis examined the primary research themes in the field, knowledge groups, keywords, country and author productivity, author and country collaboration, and cocitation network analysis between articles and sources. The broad perspective of lean logistics is briefly summarized for future researchers.

Anahtar Kelimeler: Lojistik, Yalın Lojistik, Bibliyometrik Analiz, Biblioshiny, Tematik Harita. Ortak Atf Ağı Analizi.

Jel Kodları: C89, D83, D85.

Keywords: logistics, lean logistics, bibliometric analysis, biblioshiny, thematic map. co-citation network analysis.

Jel Codes: C89, D83, D85

EXTENDED ABSTRACT

Increasing competition with globalization requires companies to assume new roles according to the changing dynamics in internal and external environments and improve business processes. Strengthening the quality and efficiency of the necessary logistic processes of the organizations to improve the flow of added value, especially since customer satisfaction is of utmost importance at this point, can help increase satisfied customers in the long term. Strong logistics processes require eliminating idle, unnecessary processes in the value stream and ensuring easily accessible, smooth, time-efficient, safe, and least risky processes.

Corresponding Author: Handan Öztemiz E-mail: handan.oztemiz@beun.edu.tr

Submitted: 06.09.2023 • **Revision Requested:** 22.09.2023 • **Last Revision Received:** 24.10.2023 • **Accepted:** 02.11.2023 • **Published Online:** 04.03.2024



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

The “lean thinking” oriented management style, initiated by the Toyota production system in the 1940s and used in different sectors today, comes to the fore while eliminating idle and resource-wasting processes from operational processes. Leanness represents the leanest/simplest/easiest logistics activities that can create two-way added value to customers and businesses; products are available at the desired place and time and in the requested way, and flexibility in all processes ensures and maintains customer satisfaction. Lean logistics emphasizes minimum error and continuous process improvement (Bowersox et al., 2002). Lean logistics is a performance-oriented management style suitable for minimum storage, self-management of the system, extensive use of technology, delivery, and distribution in smaller quantities than traditional logistics, and extended instead of short-term contracts (Özkan et al., 2015). Lean logistics is a working philosophy to identify and remove waste in the supply chain (Alejandro-Chable et al., 2022). Many sectors include and prefer lean logistics in their production support activities due to its ongoing positive added value. Many studies have examined lean logistics in different sectors, such as automobile enterprises (Liang & Wang, 2013; Silva, 2015; Zhang, 2015), transportation enterprises (Vasiliauskas et al., 2014), hospital logistics and healthcare (Aguilar-Escobar & Garrido-Vega, 2012; Serrou et al., 2016; Khlie et al., 2016; Teng et al., 2019), logistics companies (De Haan et al., 2012; Buzdik et al., 2019; Rodrigues & Kumar, 2019), forest industry (Fallas-Valverde et al., 2018), manufacturing and production companies (Dolak & Suchanek, 2015; Nowicka-Skowron & Ulewicz, 2017), agricultural product companies (Zhang & Yang, 2010; Szabo et al., 2021), miner sector (Arango Serna et al., 2009), e-businesses (Cao, 2007), urban logistics (Escuder et al., 2020), maritime and port sector (Lyonnet, 2016; Frontoni et al., 2020; Praharsi et al., 2021), and vehicle industry (Wang et al. 2006).

Conversely, understanding the literature well to determine the conceptual framework of lean logistics as a research field and its sectoral applications is imperative (Raghuram et al., 2010). Furthermore, reviewing the extant literature to identify the most relevant and effective studies is essential (Wang et al., 2016). In this context, this study analyzes the lean logistics literature regarding bibliometrics. The Web of Science (WoS) database is one of the most critical data sources in bibliometric analysis. The research data of this study comprises 559 different studies, focusing on lean logistics, scanned by international citation indexes in the WoS database between 1994 and 2022. Bibliometric analysis was used to address the following research questions (RQs):

- RQ-1: Who are the most published authors in lean logistics?
- RQ-2: Which countries stand out with the number of publications in publication production?
- RQ-3: What is the distribution of relevant publications by year?
- RQ-4: What is the single-multiple authorship status of the publications?
- RQ-5: What are the most commonly used keywords in publications?
- RQ-6: What are the most frequently used keywords in cited publications?
- RQ-7: What has been the trend in study topics over the years?
- RQ-8: What are the main themes/topics studied in lean logistics?
- RQ-9: Are the lean logistics literature and researchers' contributions to this field sufficient?

According to the research findings, studies in the field of lean logistics were first published in the WoS database in 1994. Studies in the field increased at 8.82% annual rate, and there were 22.04 citations per study. Furthermore, 1,423 researchers and 19,359 sources were used in the field between 1994 and 2022. Additionally, 61.9% studies were articles, 26.12% papers, 4.65% reviews, and 2.5% book chapters in the field; 237 publications were made between 2015 and 2020; most studies were published in 2016, with 54 publications. After 2016, a downward trend occurred in the number of studies. Among the top 15 researchers in the field of lean logistics, Jose Arturo Garza-Reyes, Vikas Kumar, and Guileherma Luz Tortorella were the most published ones; the top three journals are “Production Planning & Control,” “International Journal of Logistics-Research and Applications,” and the “Journal of Cleaner Production.” The most commonly used keywords are “lean,” “lean manufacturing,” and “value stream mapping.” In addition to lean logistics, “supply chain management,” “health,” “lean thinking,” “lean management,” “6 Sigma,” “agility,” and “sustainability” were frequently preferred keywords. Furthermore, most publications in the field belonged to Garza-Reyes JA and Kumar V, with 10 studies, and the most cited source locally was Womack J.P et al.'s (1990) “The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production” (n = 80). The most cited source globally was Kleindorfer and Saad's (2005) “Managing disruption risks in supply chains” (n = 956).

Furthermore, publications in the field were analyzed regarding country collaborations. According to the results, China, the United Kingdom (UK), and the United States were the leading countries in author collaboration. More than 60 studies in China and the UK found author collaboration, but most collaborations in China were intracountry, while the UK had more cross-country collaboration. In contrast, Turkey is among the top 20 countries regarding author collaboration; however, author collaboration in all Turkish studies was limited to the country. In other words, Turkish researchers did not establish international collaboration in the field. After examining the scientific production of the country, when the affiliated institutions of the published researchers were examined, the top three institutions were Cardiff Business School, Cranfield University, and Cardiff University from the UK. Furthermore, the most frequently used keywords included “thematic map,” “conceptual structure map,” and “common network analysis,” showing that author collaboration was also included in detail; thus, Lotka's law indicates that the literature on the central theme of lean logistics is insufficient and must be developed.

Giriş

Küreselleşme olgusuyla artan rekabet şirketlerin hem iç hem de dış çevrede değişen dinamiklere göre yeni roller almalarını, işletme süreçlerinde iyileşme yapmalarını gerektirmektedir. Özellikle gelinen noktada müşteri memnuniyetinin son derece önem kaydetmesi nedeniyle katma değer akışının iyileştirilmesi için organizasyonlardaki gerekli lojistik süreçlerin kalitesinin ve verimliliğinin güçlendirilmesi şirketlerin uzun vadede memnun müşteri kapasitesinin artmasını ve kemikleşen müşteri kitlesine erişimini kolaylaştıracaktır. Bu bağlamda tedarik zinciri yönetimi açısından lojistik faaliyetler süreç performansı için kilit role sahiptir. Güçlü lojistik süreçlerden bahsetmek içinse değer akışındaki atıl, gereksiz süreçlerin ortadan kaldırılması, kolay erişilen, akıcı, zaman avantajı sağlayan, güvenli ve en az riskli süreçlerin sağlanması gereklidir. Atıl olan ve kaynak israfı yaratan süreçlerin operasyonel süreçlerden arındırılması aşamasında ise 1940'larda Toyota üretim sistemi ile başlayan ve günümüzde farklı sektörlerde uygulamaları bulunan "yalın düşünce" odaklı yönetim şekli ön plana çıkmaktadır. Toyota'nın ABD parça dağıtım sisteminde yalın düşünce felsefesinin tedarik zinciri yönetimine uygulanmasıyla, yalın üretim, yalın stok yönetimi, yalın perakendecilik ve söz konusu tedarik zincirindeki üç ana bölüm arasındaki akışa aracılık eden lojistik faaliyetlerinde yalın düşünce odağında olmasıyla yalın lojistik kavramı ortaya çıkmıştır (Womack ve Jones,1996). Baudin (2004) ise yalın lojistikten, yalın üretimin lojistik boyutu olarak bahsetmektedir. Yalın lojistik, minimum düzeyde depolamaya uygun, sistemin kendi kendine yönettiği, geniş teknoloji kullanımının söz konusu olduğu, geleneksel lojistiğe göre daha küçük miktarlarda teslimat ve dağıtımın yapıldığı, kısa süreli sözleşmeler yerine uzun sözleşmelerin olduğu, performans odaklı bir yönetim şeklidir (Özkan vd.,2015). Yalın lojistik, süreçlerde sıfır hata ve devamlı iyileşme odaklıdır (Bowersox vd.,2002). Yalın lojistik, yalın tedarik zinciri yönetimindeki lojistik süreçlerdeki gereksiz masrafların ortadan kaldırılması, katma değer yaratmayan faaliyetlerden vazgeçilmesi açısından süreçlerin iyileştirilmesini hedeflemektedir (Baudin,2004). Yalın lojistik, tedarik zincirindeki israfı belirlemeye ve kaldırmaya yönelik bir çalışma felsefesidir (Alejandro-Chable, 2022).

Yalın lojistik, işletmelerin müşteri memnuniyetini sağlamak ve sürdürmek için ürünlerin istenen yerde, istenen zamanda, talep edilen şekilde ve tüm süreçlerde esnekliğin mevcut olduğu ayrıca bunlara paralel olarak kaynak israfının engellendiği, müşteri ve işletmeye iki yönlü katma değer yaratabilen en yalın /basit/ kolay şekildeki lojistik faaliyetler olarak ifade edilebilir. Özellikle depolama ve fazla stoklama durumunun yanı sıra uygun olmayan depolama durumunda gerekli malzemenin tedarikinde zaman ve maliyet yaratan hareket durumu söz konusu olabilmektedir. Bu gibi durumlar lojistik yönetiminin karmaşıklığı veya verimsizliği ile ilgilidir ve yalın lojistik çalışma felsefesi de tam bu aşamada işletmeler için gerekli çözümü sağlamaya odaklanmıştır. Xuming (2011), yalın düşüncenin çok sayıda yeni fikir ve teorisinin lojistik sektöründe giderek daha yer edinmesiyle ortaya çıkan yalın lojistik yaklaşımının fiziksel dağıtımdan üretim kontrolüne, bilgi yönetiminden tedarikçi desteğine kadar bir lojistik sisteminin tasarlanması ve yönetilmesi için yenilikçi ve etkili bir yöntem olduğundan bahsetmektedir. Socconini (2019) de yalın lojistiğin, kötü süreç yönetiminden kaynaklanan veya kuruluşun kültüründen dolayı olarak ortaya çıkan israfı ortadan kaldırmak için kullanılan bir çalışma felsefesi olduğundan söz etmektedir. Kaynak israfına odaklanan bu yaklaşımın sürdürülebilir üretim sistemlerini desteklediği bilinmektedir (Mücevher, 2021). İsrafın azaltılmasına odaklanarak, rekabetçi iş performansının artırılmasına yönelik sürdürülebilirlik ve yalın lojistiğin entegrasyonu önemlidir (Sopadang vd.,2014).

Yalın lojistiğin süregelen pozitif değer yaratımı nedeniyle birçok sektörün üretim destek faaliyetlerinde yer almasına ve tercih edilmesine neden olmuştur. Alan yazında otomobil işletmeleri (Liang ve Wang, 2013; Silva,2015; Zhang, 2015), ulaşım işletmeleri (Vasiliasukas vd., 2014), hastane lojistiği ve sağlık hizmetleri (Aguilar-Escobar ve Garrido-Vega, 2012; Serrou vd., 2016; Khlie vd.,2016; Teng vd.,2019), lojistik şirketi (De Haan vd.,2012; Buzdik vd., 2019; Rodrigues ve Kumar, 2019), orman endüstrisi (Fallas-Valverde vd., 2018), imalat ve üretim şirketleri (Dolak & Suchanek,2015) ; Nowicka-Skowron ve Ulewicz, 2017), tarımsal ürün şirketleri (Zhang ve Yang, 2010; Szabo vd.,2021), madencilik sektörü (Arango Serna vd.,2009), e-işletmeler (Cao,2007), kentsel lojistik (Escuder vd.,2020), denizcilik ve liman sektörü (Lyonnet,2016; Frontoni vd.,2020; Praharsi vd.,2021), araç endüstrisi (Wang vd.2006) gibi farklı sektörlerde yalın lojistik üzerine birçok çalışmaya rastlanmıştır.

Yalın lojistiğin sektörel uygulamalarının yanı sıra bir araştırma alanı olarak kavramsal çerçevesinin belirlenmesi için her alanda olduğu gibi literatürünün iyi anlaşılması son derece önemlidir (Raghuram vd., 2010). Diğer yandan literatür taraması sonucunda en ilgili ve en etkili çalışmalara vurgu yapmak önemli ve kritiktir (Wang vd.,2006). Özellikle geniş bir literatüre sahip alanlarda, araştırmaya nereden başlanması, öne çıkan çalışmaların neler olduğu, en ilgili dergilerinin belirlenmesi uzun süre alabilmektedir. Araştırmacılara kolaylık sağlaması, yön göstermesi ve fırsatları değerlendirmesi amacına yönelik ise konu genellikle bibliyometrik çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Yalın lojistik alanında ise neredeyse bibliyometrik çalışma yok denecek kadar azdır. Bu durum yalın üretim veya yalın tedarik zincirinden ayrı olarak, daha spesifik yalın lojistik alanında çalışmak isteyen araştırmacılar için dezavantajlı bir durum yaratmaktadır. Buradan yola çıkarak bu çalışmada 1994-2022 yılları arasında, uluslararası alan indeksli akademik kaynakların tarandığı, Web of Science (WoS) veri tabanında "yalın lojistik" alanındaki çalışmaların bibliyometrik analizi detaylı olarak incelenmiş, alanda en etkili araştırmacılar, en çok atıf alan çalışmalar, en ilgili dergiler, kaynaklar ve kurumlar, en çok iş birliği yapılan ülkeler, en sık tercih edilen anahtar kelimeler, alanda öne çıkan temalar ve yazarlar arasındaki ağ analizinin tespit edilmesi yoluyla gelecekte alanda yayın yapmak isteyen araştırmacılar için bir yol haritası hazırlanması amaçlanmıştır. Çalışma giriş ve sonuç bölümü dışında üç ana bölümden oluşmaktadır. Bölüm 1'de çalışmaya temel oluşturacağı düşünülen, literatürde yer alan yalın, yalın üretim, yalın lojistik ve yalın tedarik zinciri yönetimindeki bibliyometrik analizler incelenmiştir.

Bölüm 2’de yöntem ve veriler detaylandırılmış, Bölüm 3’te ise bibliyometrik analizinin bulgularına geniş yer verilmiştir. Sonuç ve tartışma bölümünde bulgular baz alınarak yalın lojistik alan yazınına ilişkin genel değerlendirmeler yapılmış, araştırmacılar ve uygulamacılar için öneriler de bulunulmuştur.

1. Literatür İncelemesi

Müşteri ihtiyaçlarını karşılayarak maliyet ve atıkların azaltılmasına odaklanan stratejik bir model olan yalın tedarik zinciri yönetimi, araştırmacılar ve uygulayıcılar arasında büyük ilgi görmektedir (De Sousa vd., 2018). Yalın tedarik zincirinin çıkış felsefesi olan yalın kavramı başta olmak üzere, yalın üretim, yalın lojistik ve yalın tedarik zinciri yönetimi üzerine ise teorik ve amprik olmak üzere geniş bir literatür bulunmaktadır. Bu kısımda yalın ve yalın üretim konusundaki bibliyometrik analizlerden de örnekler yer alırken, yalın tedarik zinciri ve yalın lojistik konularında yayınlanan bibliyometrik çalışmalara odaklanılmış ve söz konusu literatürden örnekler sunulmuştur:

Dal Forno ve Forcellini (2012), 2007-2011 yılları arasında literatürde Emerald ve WoS veri tabanında yer alan “yalın ürün geliştirme” konusundaki 289 çalışmayı bibliyometrik olarak incelemiş, alandaki çalışmalarının eğilimlerini, metodolojilerini, çalışmaların uygulamalarının yapıldığı sektörlerin neler olduğunu belirlenmişlerdir. Alandaki çalışma sayısının zamana paralel artış gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Martínez-Jurado ve Moyano-Fuentes, (2014), yalın yönetim, tedarik zinciri yönetimi ve sürdürülebilirlik arasındaki bağlantılara ilişkin 1993-2013 yıl aralığında literatürde yer alan çalışmaları, konu kümelerine göre gruplandırarak ve sınırlandırarak amprik çalışmaların sektörel ayrımlarını, çalışmalarda kullanılan anahtar kelimelerin neler olduğunu incelenmişlerdir.

Endler vd. (2018), 1992- 2016 yılları arasında WoS veri tabanında yer alan “yalın tedarik” anahtar kelimesini kullanarak yalın tedarik üzerine erişilen 211 bilimsel üretimin niceliksel bir analizini bibliyometrik olarak incelemişlerdir.

De Sousa vd. (2018), 1999-2018 yılları arasında Scopus ve WoS veri tabanları tarafından indekslenen dergilerde yayınlanan 57 makale aracılığıyla bibliyometrik analize dayanarak Yalın Tedarik Zincirleri literatürünü inceledikleri çalışmada “yalın tedarik zinciri” anahtar kelimesine göre en ilgili derginin Supply Chain Management and International Journal of Lean Six Sigma olduğu, International Journal Production Economics ve International Journal of Production Research dergilerinin de önemli kaynaklar olduğunu; alanda en üretken olan ülkenin Hindistan olduğunu, ülke işbirliğinde ise ABD’nin öne çıktığını; söz konusu literatürde performans, strateji, bilgi, yönetim ve sürdürülebilirlik konularının sıklıkla tekrar edildiğini belirlenmişlerdir.

Iyengar ve Bharathi (2018), Google Akademik, Scopus ve ResearchGate veri tabanını inceleyen araştırmacılar, 1990-2017 yılları arasında yayınlanan otomobil endüstrisi bağlamında yalın, çevik ve leagile (hibrit) tedarik zincirleri üzerine akademik yayınlar için bibliyometrik araştırma sonucunda, ABD’li ve Çin’li araştırmacıların yalın tedarik zinciri alanına geniş katkılarının ve yüksek atıf sayılarının olduğunu, Hintli yazarların ise çevik tedarik zincirinde öne çıktıklarını belirlenmiştir.

Ciano vd. (2019), alanla en başından beri ilgili olan International Journal of Production Research dergisinin “yalın” hakkındaki literatürünü VOSviewer yardımıyla bibliyometrik açıdan incelemişlerdir. Dergide yayınlanan çalışmaların zaman içerisinde yalın konusunun nasıl ele alındığını karşılaştırmalı olarak araştırma akışıyla sundukları çalışmada, “yalın” kavramının başlangıcından beri önemini koruduğunu, dergideki yayınlardaki son eğiliminin ise Endüstri 4.0, sürdürülebilirlik ve yeniden üretim ile ilişkilendirildiğini tespit etmişlerdir. Çalışmada Scopus veri tabanı tercih edilirken, ilgili 806 yayın incelenmiştir. Benzer şekilde Alasai vd. (2023), yalın ve Endüstri 4.0 entegrasyonu üzerine 2010-2022 yılları arasında Scopus veri tabanında yer alana çalışmaları bibliyometrik açıdan incelemişlerdir.

Taddeo vd. (2019), bilimsel literatür veri tabanını kullanarak, bibliyometrik ve ağ analizi yoluyla temiz üretim araştırmalarının ve yayınlarının yalın lojistik alanına nasıl giderek dahil edildiğini, bu alt alandaki ana konuların neler olduğunu ve ortak araştırma temalarını Yalın ve Temiz üretim araştırmalarına ilişkin niteliksel/niceliksel bir genel bakış sunmak amacıyla, Scopus veri tabanında 1990-2017 yılları arasındaki yayınları incelemişlerdir. Ucinet yazılımından yararlanılan çalışmanın bulgularında, yalın tedarik zinciri konusundaki çalışmaların zamana bağlı pozitif yönde artan eğilimde olduğu, yalın ve temiz tedarik zinciri konusunda ise hemen hemen her yıl aynı düzeyde yayın yapıldığını; yalın TZY alanında önemli dergilerin SAE Technical papers ve International Journal of Production Research olduğunu belirlerken, alanda etkin 300 yazar arasındaki sosyal ağ (iş birliği) analizine de yer vermişlerdir.

Garcia-Buendia vd. (2021), 1996-2018 yılları arasında WoS veri tabanındaki yalın tedarik zinciri konusunda yayınları inceleyerek, alandaki ana temaları ve gelecek trendleri değerlendirmiştir. SciMAT bibliyometri programı kullanarak, başlıklarda “yalın” ve “tedarik zinciri” kelimeleri içeren 576 çalışmayı inceleyen araştırmacının bulgularında en çok yayın yapan yazarın Garza-Reyes ardından Kumar olduğunu, en üretken ülkenin sırasıyla ABD, İngiltere ve Hindistan olduğunu; en ilgili derginin Journal of Cleaner Production, International Journal of Production ve International Journal of Production Research olduğunu belirlemiş, ayrıca alana ilişkin tematik ayrıma da yer vermişlerdir.

Raji vd. (2021), yalın tedarik zinciri ve çevik tedarik zinciri stratejik olarak entegre kullanmasının tedarik zinciri yönetiminde performansını artırdığı varsayımından yola çıkarak, bilginin tasarlanması, aktarılması ve geliştirilmesi prosedürünü dinamik bir bakış açısıyla inceleyerek yalın-çevik tedarik zincirinin son durumunu ortaya çıkarmak için yoğun bir bibliyometrik bir analiz sunmuşlardır.

Oliveira-Dias vd. (2021) ise tedarik zinciri duyarlılığını, yalın tedarik zincirini ve çevik tedarik zinciri stratejilerini kullanarak iyileştirmeyi amaçlayan iki tedarik zinciri stratejisi bağlamında bilgi teknolojileri (BT) üzerine yapılan araştırmaların 1996 - 2019 arasındaki tematik gelişimini SciMAT yazılımı kullanarak bibliyometrik olarak incelemiş, alanda yayınlanmış çalışmaların atıflar, en çok katkıda bulunan yazar, dergi etki faktörü, h-faktörü, makalelerin coğrafi dağılımlarını incelemişlerdir.

Sopadang ve Wishaisri (2021) ise yalın sürdürülebilir lojistik alanındaki çalışmaları “sürdürülebilir kalkınma”, “yalın konsept” ve “lojistik yönetimi” kavramları bağlamında bibliyometrik olarak ele almıştır.

Özdağoğlu vd. (2022), WoS veri tabanında 1988-2021 yılları arasında yalın üretim konusundaki 1941 makaleyi bibliyometrik olarak incelemişlerdir. VOSviewer yardımıyla alanda en ilgili 25 yazar, en üretken ülke, en fazla katkı sunan kurum, makalelerin yayın dillerinin yanı sıra en ilgili dergileri de belirlemişlerdir. Bulgulara göre International Journal of Production Research en ilgili dergidir.

Kumar vd. (2023), yalın üretim ve Endüstri 4.0 tekniklerinin entegrasyonu alanında öne çıkan araştırmalarının bileşenlerini belirlemek ve entelektüel yapıyı ortaya koymak amacıyla Scopus veri tabanında yer alan yayınları VOSviewer azılımindan yararlanarak bibliyometrik olarak analiz etmişlerdir. Yalın üretim ve Endüstri 4.0 entegrasyonunun akademik olarak ilk 2016 yılında yayınlandığını belirleyen yazarlar, 2016-2021 zaman aralığını araştırma veri aralığı olarak belirlemişler ve Scopus veri tabanında “yalın imalat”, “yalın üretim”, “yalın altı sigma”, “Endüstri 4.0”, “akıllı üretim”, “akıllı imalat”, “yalın 4.0” ve “Yalın Endüstri 4.0” anahtar kelimeleri ile yaptıkları analizde konu özelinde 433 yayını bibliyografik olarak incelemişlerdir. Araştırmanın bulgularında en ilgili kaynağın International Journal of Production Research; en ilgili yazarın Tortorella G.L.; en çok yayını olan ülkenin Hindistan olduğu ve alandaki yayın sayısının en fazla olduğu yılın 2021 yılı olduğu belirlenmiştir.

Citybabu ve Yamini (2023) benzer şekilde yalın altı sigma ve Endüstri 4.0 entegrasyonunun kavramsal çerçevesini oluşturmak amacıyla 2011-2022 yıl aralığında Scopus ve WoS veri tabanında yayınlanmış makaleleri VOSviewer yardımıyla bibliyometrik olarak incelemişlerdir. Çalışmanın verileri “yalın”, “altı sigma”, “yalın altı sigma” ve “Endüstri 4.0” anahtar kelimeleri ile her iki veri tabanında yer alan, yayın dili İngilizce olan 356 makaleden oluşmaktadır. Araştırmanın bulgularının Kumar vd. (2022)’nin çalışmasının bulgularıyla genel olarak paralel olduğu, ancak en çok yayın yapılan ülkenin İtalya olduğu belirlenmiştir. Bu durum özellikle 2021 ve sonrasında yalın altı sigma ve endüstri 4.0 entegrasyonu üzerine İtalya’da daha fazla çalışma yapıldığını gösterirken, Hindistan’ın sıralamada ikinci olduğuna da yer verilmiştir.

Alp ve Akalın (2023) ise yalın yönetim konusunda 1996-2022 yılları arasında Türkiye Yüksek Öğretim Tez Merkezi veri tabanında yer alan 86 lisansüstü tezlerini bibliyometrik olarak incelemiş, atıf ve ağ ilişkisine yer vermeyen çalışmada söz konusu tezler için yıllara göre dağılımı, yayın dili, yazarların cinsiyetleri, danışman unvanları, hangi üniversitelerde ve illerde yazıldıkları, anabilim dalı ve enstitü dağılımları, sayfa aralığı gibi deterministik istatistikler ortaya konmuştur.

Literatürde alanı bibliyometrik olarak inceleyen çalışmalar veri tabanları ve dergi özelinde, çalışma yılları ve arama anahtar kelimeleri açısından ayrıca tercih edilen yazılım programları ile farklılaşmaktadır. Diğer yandan söz konusu literatürde yalın üretim ve yalın tedarik zinciri konusunda bibliyometrik çalışmaların yoğunlukta olduğu, yalın lojistik konusunda ise daha az sayıda çalışmanın olduğu belirlenmiştir. Literatür taramasındaki bir diğer bulgu ise yalın tedarik zinciri ve yalın lojistik alanında ulusal literatürde bibliyometrik çalışmalarının neredeyse yok denecek kadar az sayıda olduğudur. Bu bağlamda yalın tedarik zinciri yönetiminin alt boyutlarından bir olarak değerlendirilen, yalın üretimden, yalın stok yönetimine ve yalın perakendeciliğe aracılık eden yalın lojistik ana temasını spesifik olarak ele alan çalışmaların genel eğilimlerinin incelenmesi önemli görülmüştür.

2. Yöntem ve Veriler

2.1. Bibliyometrik Analizler

Bibliyometrik analizler, araştırılmak istenen herhangi bir konuda mevcut çalışma, bilgi yapısı ve araştırma alanlarının gelişimini ortaya koymak için yazılı dokümanları inceleyerek nicel bir değerlendirme sağlamaktadır (Pritchard, 1969). Bibliyometrik veriler üzerinde yapılan söz konusu analiz, kayıtlı bilginin özelliklerinin ve eğilimlerinin incelenmesinde, bilimsel ve araştırma alanlarının yapılarının analizinde; araştırma faaliyetlerinin değerlendirilmesinde, bilimsel bilginin yönetiminde ve bilimsel bilginin yönetiminde kullanılmaktadır (Patra vd.,2006). Bibliyometrik göstergeler, araştırma performansının değerlendirilmesinde de bir araç olarak değerlendirilmektedir (Wallin,2005). Bu analizler, alandaki en verimli araştırmaları ve iş birliklerini ortaya çıkarmaya hizmet etmektedir (Subramanyam,1983). Bibliyometrik analizlerin, belirli alanlardaki klasik araştırma akışlarının yanı sıra dergi performansını, ortak yazarları, ortak atıf eğilimlerini belirlemek için de uygun analizlerdir (Baker vd. 2019). Bununla birlikte, bibliyometrik analizdeki en kritik hedeflerden biri, tutarlı ve standartlaştırılmış bir gösterge seti elde etmektir (Van Raan 2004). Donthu vd. (2021), bibliyometrik analizlerin disiplinler arası metodolojiler ve büyük hacimli verilerin işlenmesi için popülerlik kazandığından bahsetmiştir.

2.2. Veriler

Bibliyometrik analizde en önemli veri kaynaklarından biri WoS veri tabanıdır. Bu çalışmadaki araştırma verileri, WoS veri tabanında 1994-2022 aralığında uluslararası atıf indeksleri tarafından taranan yalın lojistik ana temasında yazılmış farklı türlerdeki 559 çalışmadan oluşmaktadır. WoS veri tabanı kullanılarak yalın lojistik alanında yayınlanan 559 çalışmanın yayın yılları, yayın türleri, yayın dilleri, başlıkları, yazar isimleri, yazarların ülkeleri, kaç kaynağa atıf yaptıkları ve WoS veri tabanında kaç kaynağa atıf yaptıkları, özetleri, anahtar kelimeleri ve kaynakçaları elde edilmiştir. Elde edilen veriler kapsamında 559 çalışmanın yıllara göre dağılımı, yayın türleri, veri tabanındaki toplam araştırmacı sayısı, yıllık ortalama yayın sayısındaki değişim ve yayın başına düşen ortalama atıf sayısı incelenmiştir. Söz konusu atıf ve sosyal ağ analizleri için literatürde de bahsedildiği üzere (VOSviewer, SciMAT, Ucinet vb. gibi) aynı amaçla kullanılan, benzer çıktıları olan yazılım programları bulunmaktadır. R tabanlı Biblioshiny’de bu programlardan birisidir. R tabanlı bu yazılımın, etkili istatistiksel algoritmalar içermekte ve entegre veri görselleştirme araçlarının bulundurmaktadır (Aria ve Cuccurullo,2017). Bu çalışmada bibliyometrik analiz için R tabanlı Biblioshiny for bibliometrix paket programı kullanılmış ve bu analizler aracılığıyla aşağıdaki araştırma sorularına (AS) yanıt aranmıştır:

- AS-1: Yalın lojistik alanında en çok yayın yapan yazarlar kimlerdir?
 AS-2: Yayın üretiminde yayın sayısı ile öne çıkan ülkeler hangileridir?
 AS-3: İlgili yayınların yıllara göre dağılımı nasıldır?
 AS-4: Yayınların tekli-çoklu yazarlık durumu nedir?
 AS-5: Yayınlarda en çok kullanılan anahtar kelimeler nelerdir?
 AS-6: Atıf yapılan kaynak yayınlarda sıklıkla kullanılan anahtar kelimeler nelerdir?
 AS-7: Çalışma konuları yıllar içinde nasıl bir eğilim izlemiştir?
 AS-8: Yalın lojistik alanında çalışılan ana temalar/konular nelerdir?
 AS-9: Yalın lojistik literatürü ve araştırmacıların bu alana katkıları yeterli midir?

2.3. Analiz ve Bulgular

İlk olarak, Tablo 1’de 559 çalışmanın zaman aralığını, veri tabanındaki toplam araştırmacı sayısını, yıllık ortalama yayın sayısındaki değişimi ve yayın başına ortalama atıf sayısını gösterilmiştir. Tek yazarlı belgelerin yazar istatistikleri de Tablo 1’de ayrıca detaylandırılmıştır.

Tablo 1. Yayınlarla İlişkin Temel İstatistikler

Tanım	Sonuçlar
Zaman Aralığı	1994-2022
Kaynaklar	315
Belgeler	559
Yıllık Büyüme Oranı	8.82 %
Doküman başına ortalama atıf sayısı	22.04%
Toplam yazar sayısı	19.359
Tek yazarlı yayın yapan araştırmacı sayısı	1423
Tek yazarlı yayın sayısı	59

Tablo 1’e göre yalın lojistik alanındaki çalışmaların WoS veri tabanına ilk kez 1994 yılında yayınlandığı, alandaki çalışmaların yıllık bazda %8,82 oranında arttığı ve alandaki çalışma başına ortalama 22,04 atıf düştüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca alanda toplam 1.423 araştırmacı olduğu ve toplam 19.359 kaynak kullanıldığı belirlenmiş olup, 59 araştırmacının tek yazarlı çalışmalarla alana katkı sağladığı tespit edilmiştir. Yazarların iş birliği Tablo 2’de detaylandırılmıştır.

Tablo 2. Yazar İş Birliği

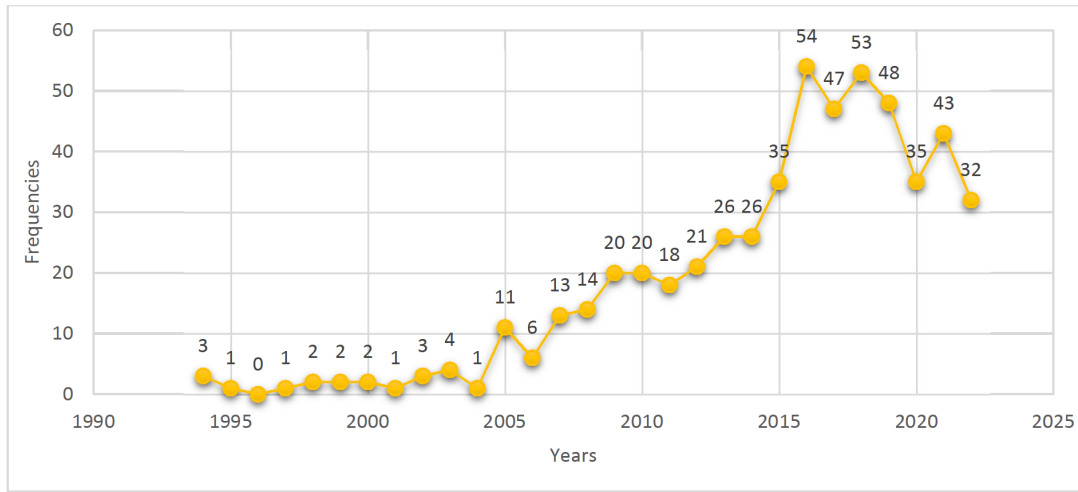
Yayın başına ortak yazar sayısı	2.92
Uluslararası ortaklık yüzdesi	23.43

Tablo 2 incelendiğinde, alandaki belge başına ortak yazar sayısı 2,92, uluslararası ortak yazarlık yüzdesi ise 23,43 olarak hesaplanmıştır. Tablo 3 yayınların türlerine göre dağılımını göstermektedir.

Tablo 3. Yayınların türüne göre frekans analizi

Yayın Türü	Frekans	Yüzde (%)
Makale	346	61.90
Kitap Bölümü	14	2.50
Erken Erişim	14	2.50
Makale: Bildiri	10	1.79
Bildiri	146	26.12
Derleme	26	4.65
Derleme: Erken Erişim	3	0.54

Tablo 3'e göre veri tabanında yer alan yalın lojistik alanındaki çalışmaların %61,9'unun makale, %26,12'sinin bildiri türünde olduğu görülmüştür. %4,65'inin derleme, %2,5'inin kitap bölümü ve %2,5'nin de erken erişim olduğu tespit edilmiştir. Alandaki çalışmaların yıllara göre dağılım oranları Grafik 1'de gösterilmiştir.

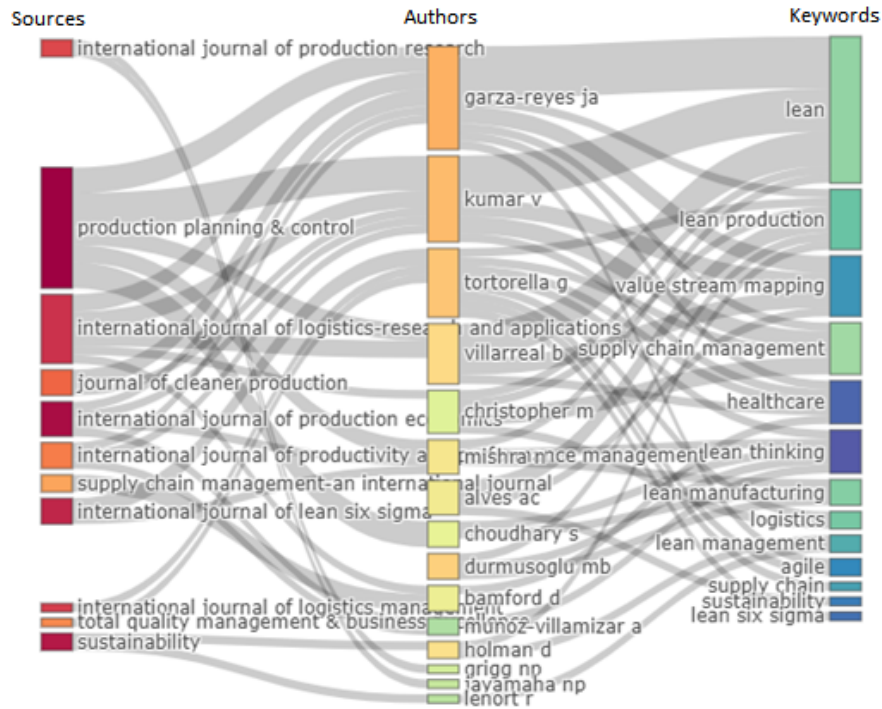
**Grafik 1.** Yayınların yıllara göre dağılımı

Yayınların yıllara göre dağılımı incelendiğinde alanda çalışmaların en çok 2015-2020 yılları arasında yayınlandığı görülmektedir. Söz konusu zaman diliminde 237 yayın yapıldığı görülürken, 2016 yılı yayınlanan 54 yayın ile en çok yayın yapılan zaman dilimidir. Öte yandan, 2021 yılında bir sıçrama yaşansa da 2016 yılından sonra yayın sayısında bir azalma eğilimi olduğu görülmektedir. Grafik 1 genel olarak değerlendirildiğinde yalın lojistik alanındaki yayın sayısının 2005 ve sonrasında ciddi bir sıçrama sonrası artışa geçtiği, 2010 sonrası ise sıçra trendini iki katladığı, bu durum, alanla da oldukça yakın ilişkili olan, dijital çağ veya diğer adıyla Endüstri 4.0¹ paralelinde hem alanın daha iyi anlaşılması hem de üretim başta olmak üzere yalın lojistik uygulamalarının artmasıyla ve küreselleşmenin olumsuz çevresel etkileriyle önem kazanan sürdürülebilirlik ve yeşil tedarik zinciri çalışmalarında yalın lojistiğin farkındalık kazanmasıyla ilişkilendirilebilir. Öyle ki söz konusu literatür detaylı incelendiğinde teknolojiye ilişkin gelişmeler ve sürdürülebilirlikle ilişkilendirilmiş yalın lojistik çalışmalarının son 20 yılda artışı görülebilir.

Çalışmaların yayınlandığı dergiler, yazarları ve tercih edilen anahtar kelimeler arasındaki ilişki ise Şekil 1'de gösterilen üç alan grafiği ile incelenmiştir. Üç alan grafiğinde, dergiler, yazarlar ve tercih edilen anahtar kelimeler arasındaki ilişkinin yanı sıra, her bir kategori için birimlere ait dikkörtgenlerin boyutu her birinin alandaki çalışma sayısının çokluğu ile doğru orantılıdır (Rusydziana,2021). Bu bağlamda üç alan grafiğini yorumlarken dikkörtgenlerin renk yoğunluğu değil, boyutlarının genişliği dikkate alınmalıdır.

Şekil 1'e göre "yalın lojistik" alanında ilk 15 araştırmacı arasında en çok yayın yapan araştırmacıların Jose Arturo Garza-Reyes, Vikas Kumar ve Guileherma Luz Tortorella olduğu görülmektedir. Alanında en çok yayın yapan dergilerde yukarıda adı geçen yazarlarla ilgili 11 kaynak olduğu görülürken, ilk 3'te "Production Planning & Control", "International Journal of Logistics-Research and Applications" ve "Journal of Cleaner Production" olmuştur. Öte yandan 11 anahtar kelimenin öne çıktığı görülmektedir. En çok kullanılan 3 kelime ise "yalın", "yalın üretim" ve "değer akış haritalama" olarak belirlenmiştir. Yalın lojistiğin yanı sıra "tedarik zinciri yönetimi", "sağlık", "yalın düşünce", "yalın yönetim", "6 sigma", "çeviklik" ve "sürdürülebilirliğin" de

¹ Endüstri 4.0, 2011 yılında Hannover Fuarında kamuoyuna tanıtılmıştır. Alman hükümetinin yüksek teknoloji stratejisindeki bir projeden kaynaklanan güncel sanayi devrimi Siber Fiziksel Üretim Sistemlerini geliştirmiş, üretimde gerçek zamanlı iletişimi ve iş birliğini mümkün kılmıştır (Xu, 2021:530).



Şekil 1. Üç Alan Grafiği: Yazarlar, Anahtar Kelimeler ve Dergiler Arasındaki İlişki

anahtar kelimeler arasında sıklıkla tercih edilmiştir. Bu çizelgede bahsi geçen kaynaklar, alanda en çok yayın yapan yazarlara ve kullandıkları anahtar kelimelere göre değerlendirilmiştir. Yalın lojistik alanında en ilgili 10 kaynak ise Tablo 4'te gösterilmiştir.

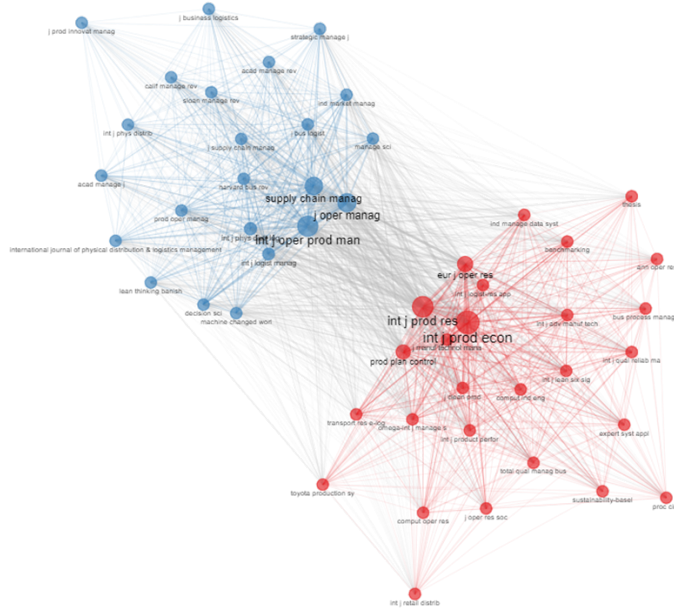
Tablo 4. En Alakalı Kaynaklar

Dergiler	Makale Sayısı	h-endeks değeri	Toplam Atıf Sayısı
Production Planning & Control	24	13	626
International Journal of Production Economics	14	13	768
Sustainability	14	6	101
International Journal of Lean Six Sigma	13	6	161
International Journal of Logistics Research and Applications	13	8	196
International Journal of Logistics Management	13	10	391
International Journal of Production Research	13	11	888
Logforum	11	5	47
International Journal of Operation & Production Management	9	9	813
Journal of Cleaner Production	8	8	579

Tablo 4, Yalın Lojistik temasıyla ilgisine göre her bir dergi tarafından yayınlanan araştırma makalelerinin sayısını göstermektedir. Buna göre, yalın lojistik ana temasında en fazla yayın yapan derginin “Production Planning & Control” olduğu görülmektedir. Yalın lojistikteki bilimsel etki değerine göre “Production Planning & Control” ün yanı sıra “International Journal of Production Economics” in de 13 h-endeks değerine sahip olduğu görülmektedir. Öte yandan alanda etki değeri yüksek olan International Journal of Production Research ve International Journal of Logistics Management dergilerinde de 10 ve üzerinde h endeks değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan en ilgili 3 kaynaktan biri olan “Journal of Cleaner Production” dergisinin etki derecesi nispeten daha gerilerde gerçekleşmiştir.

Kaynaklar arasındaki ortak atıf ağı analizi ise Şekil 2’de gösterilmiştir

Şekil 2’de yer alan kaynaklar arasındaki ortak atıf ağı analizine yer verilmiştir. Ortak atıf, iki belgeye birlikte atıfta bulunulma sıklığını ifade etmektedir ve birbirinden farklı iki belgeye yapılan atıfların ilerleyen zamanlarda artarak tekrarlanması ise iki belge arasındaki bağlantının olduğu göstermektedir (Small, 1973). Ortak atıf analizi, seçilen makaleler arasındaki çapraz referans ilişkilerini hesaplar, ağ analizi, ortak atıf yapısını görselleştirmek ve ağdaki temel makaleleri belirlemek için kullanılır (Tang vd.,2021). Şekil 2’de gösterilen ortak atıf ağ analizinde, bağlantılılık (betweenness) ve yakınlık (closeness) derecelerine göre



Şekil 2. Kaynaklar Arası Ortak Atf Ağı

kırmızı ve mavi olmak üzere iki farklı küme olduğu görülmektedir. Her iki kümede yer alan kaynakları temsil eden dairelerin büyüklüğü ise benzer şekilde kaynağın alandaki etki düzeyi ile paralellik göstermektedir. Bu bağlamda kırmızı kümede en yüksek betweenness (79,97) ve closeness (0,014) derecesine göre "International Journal of Operations & Production Management" dergisinin ön planda olduğu görülürken, "Journal of Operations Management" (betweenness:57.09, closeness:0.014) ikinci; "Supply Chain Management" (betweenness:55.37, closeness:0.014) ise üçüncü sırada yer almaktadır. Öte yandan, mavi kümede öne çıkan kaynaklardan ilki "International Journal of Operations & Production Management" (betweenness:74.32; closeness:0.013) iken, "International Journal of Production Research" (betweenness:54.80; closeness:0.013) dergisi de öne çıkan ikinci önemli kaynaktır.

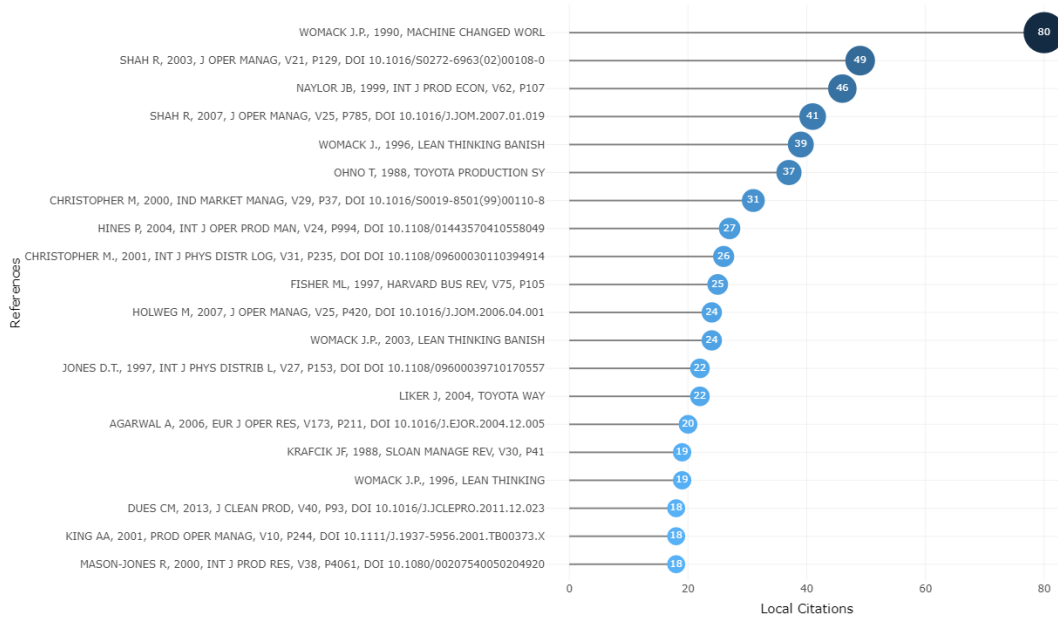
Tablo 5'te alanla en ilgili ilk 15 yazarın listesini gösterilmektedir. Alanla ilgili ilk 15 yazar için makale sayısı ve bilimsel değer indeks değerleri (h,g ve m endeks) detaylandırılmıştır. Bu endekslerden h- endeksi, bilim insanının N sayıdaki makalelerin her birine en az h sayıda alıntı, kalan diğer makalelerine ise en çok h sayıda alıntı yapıldığı durumda bilim insanının bilimsel araştırma çıktısının kümülatif etkisinin h olacağını ifade etmektedir (Hirsch,2005). g-endeksi ise h-indeksine benzer şekilde bilimsel değer endeksi olup, h endeksinin yüksek atf almış yayınların yarattığı etki düzeyine duyarlı olmaması dezavantajına yönelik geliştirilmiştir. Bu endeks h endeksinin aksine daha fazla atf almış g adet yayını göstermektedir (Al,2008). Bu nedenle de her zaman g endeks değeri, h endeks değerine eşit veya büyük olacaktır (Eghe, 2006). Son olarak m endeksi ise, ortalama atf sayısını göstermektedir ve bu endeks değeri h endeks değerinden küçük ya da eşittir (Bornmann vd., 2008).

Tablo 5. En Alakalı Yazarlar

Yazarlar	Makale Sayısı	h-endeks	g-endeks	m-endeks	Toplam Atf Sayısı	Fraksiyonel Makaleler
Garza-Reyes JA	10	9	10	1.286	367	2.57
Kumar V	10	8	10	0.889	301	2.43
Tortorella G	7	4	7	-	90	1.73
Durmusoglu MB	5	3	5	0.273	68	2.17
Villarreal B	5	5	5	0.714	148	1.42
Holman D	4	1	2	0.111	5	1.37
Mishra N	4	4	4	0.800	5	1.12
Satoglu SI	3	1	3	0.100	29	1.50
Shafiq M	3	3	3	0.750	19	1.50
Sortana K	3	3	3	0.750	19	1.50
Chistopher M	3	3	3	0.214	137	1.25
Qamar A	3	2	3	0.400	35	1.00
Sihn W	3	2	3	0.167	53	1.00
Hines P	2	1	2	0.038	368	1.50
Michlowicz E	2	1	1	0.167	10	1.50

Buna göre alanda en çok yayının, 10 çalışma ile Garza-Reyes JA ve Kumar V'ye ait olduğu ve her iki yazarın da yakın h-endeks ve g-endeks değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Alanda 7 yayını olan Tortorella G'nin h-endeksi 4; alanda 5 yayını olan Villarreal B'nin h endeksi ise 5 iken, ilk 15 yazar arasında 4 yayını olan Mishra N'nin de h endeksinin 4 olduğu, diğer yazarların h endeksinin 3 ve altı olduğu görülmüştür.

Alanda en çok atıf alan yayınlar incelenmiştir. En çok atıf alan çalışmalar yerel ve küresel olarak ikiye ayrılmıştır. Fetscherin ve Heinrich'e (2015) göre, toplam yerel atıf (TLC) puanı, bir makalenin ulaşılan örneklemedeki diğer makaleler tarafından aldığı toplam atıf sayısını temsil ederken, toplam küresel atıf (TGC) puanı, ISI Web of Knowledge'ın tamamına dayalı olarak bir makalenin aldığı toplam atıf sayısını temsil etmektedir. Öncelikle, en çok yerel atıf alan referanslar Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekil 3'e göre, ilk 20 sıralamadaki en yüksek atıf sayısı 80, en az atıf sayısı ise 18'dir.



Şekil 3. Yerel Atıf Alan Kaynaklar

Şekil 3 incelendiğinde yerel olarak en çok atıfta bulunulan kaynak "The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production" adlı Womack J.P vd. (1990) tarafından yazılan kitaptır. Bu çalışma yalın üretim sistemini ortaya koyan ilk kitaptır, 1990 yılından sonra 2007 yılında ikinci baskısı yapılmıştır. Listedeki 49 yerel atıf ile ikinci olan Shah, R. ve Ward P.T. (2003)'e ait "Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance" adlı makale yalın üretim sistemlerinin temel unsurlarının uygulanması olasılığı altında tesis büyüklüğü, tesis yaşı ve sendikalaşma gibi üç bağlamsal faktörün etkisini incelemiş ve üretimin işletme performansına önemli derece katkıda bulunduğu tespit etmiştir. Listedeki önemli eserlerden biri de Noylar, J.B. vd.'e ait (1999) "Leagility: Integrating the lean and agile manufacturing paradigms in the total supply chain" başlıklı yayındır. Bu yayın ise yalın lojistik ve çevik lojistiği toplam tedarik zinciri stratejisi olarak birleştirmeyi önermekte ve bunun avantajlarından bahsetmektedir.

Tablo 6'da ise küresel olarak en çok atıf alan kaynaklar gösterilmektedir. Buna göre, ISI Web of Knowledge ağında 956 atıf ile, yani küresel olarak en çok atıf alan belge Kleindorfer ve Saad'ın (2005) "Managing disruption risks in supply chains" başlıklı yayını olmuştur. Bu belge, tedarik zincirlerinde aksama riski yönetiminin temelini oluşturan risk değerlendirme ve risk azaltma ortak faaliyetlerini yansıtan yalınlıkla ilgili kavramsal bir çerçeve sunmaktadır. 455 atıf alan ikinci çalışma ise, Li, S. ve diğerleri (2005) tarafından yayınlanan "Development and validation of a measurement instrument for studying supply chain management practices" başlıklı yayındır. Bu dokümanda tedarik zinciri yönetimi için bir performans aracı geliştirilmekte ve TZY'nin boyutlarından biri olarak yalın uygulamalar ele alınmaktadır.

Veri analizinde, yayınlar arasında bibliyografik bir bağlantı kurulmuş ve yayınlar için bir ortak atıf bağlantısı oluşturulmuştur. Şekil 4'te alanda yayınlanmış 50 bilimsel çalışma için, söz konusu ortak atıf analizi ele alınmış ve ağ yapısındaki daireler farklı renklerde gösterilmiştir.

Şekil 4'teki renkler çalışmaların konu olarak yakınlığını, dairelerin büyüklüğü ise çalışmanın alandaki etki düzeyini temsil etmektedir. Diğer bir ifade ile kırmızı renkli ağdaki makalelerin konuları kendi içinde; mavi renkli ağdaki makalelerin konuları kendi içinde ve benzer şekilde yeşil renkteki makalelerin konuları kendi içinde birbirine yakındır. Her bir renkli ağdaki makalelerin diğer renkli ağda yer alan makaleye atıf verdiği ve aldığı da görülmektedir. Makaleler arasındaki ortak atıf ağı, ağda yer alan makalelerin referanslarında bir arada bulunan yayınlar arasındaki yakınlaşmaları ve bu ağdaki aktif yazarları da göstermektedir.

Tablo 6. En Çok Küresel Atıf Yapılan Yayınlar

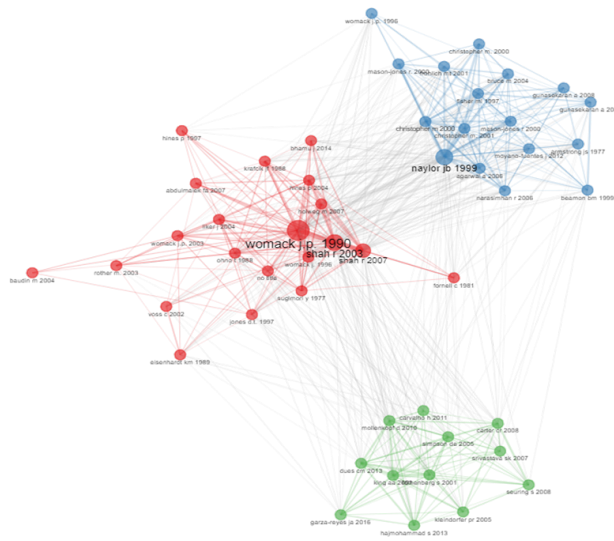
Yayınlar	Toplam Atıf	Toplam Atıf/Yıl
*Kleindorfer, P. R., & Saad, G. H. (2005). Managing disruption risks in supply chains. <i>Production and operations management</i> , 14(1), 53-68.	956	53.11
*Li, S., Rao, S. S., Ragu-Nathan, T. S., & Ragu-Nathan, B. (2005). Development and validation of a measurement instrument for studying supply chain management practices. <i>Journal of operations management</i> , 23(6), 618-641.	455	25.28
*Golicic, S. L., & Smith, C. D. (2013). A meta-analysis of environmentally sustainable supply chain management practices and firm performance. <i>Journal of supply chain management</i> , 49(2), 78-95.	388	38.80
*Hines, P., & Rich, N. (1997). The seven value stream mapping tools. <i>International journal of operations & production management</i> .	368	14.15
*Mollenkopf, D., Stolze, H., Tate, W. L., & Ueltschy, M. (2010). Green, lean, and global supply chains. <i>International Journal of Physical Distribution & Logistics Management</i> .	333	25.62
*Chen, I. J., & Paulraj, A. (2004). Understanding supply chain management: critical research and a theoretical framework. <i>International Journal of production research</i> , 42(1), 131-163.	302	15.89
*Blackhurst, J., Dunn, K. S., & Craighead, C. W. (2011). An empirically derived framework of global supply resiliency. <i>Journal of business logistics</i> , 32(4), 374-391.	299	24.92
*Koh, S. L., Demirbag, M., Bayraktar, E., Tatoglu, E., & Zaim, S. (2007). The impact of supply chain management practices on performance of SMEs. <i>Industrial Management & Data Systems</i> .	211	13.19
*Gligor, D. M., & Holcomb, M. C. (2012). Understanding the role of logistics capabilities in achieving supply chain agility: a systematic literature review. <i>Supply Chain Management: An International Journal</i> , 17(4), 438-453.	193	17.15
*Perboli, G., Musso, S., & Rosano, M. (2018). Blockchain in logistics and supply chain: A lean approach for designing real-world use cases. <i>Ieee Access</i> , 6, 62018-62028.	183	36.60

Ortak atıf ağı genel olarak incelendiğinde kırmızı renkte görünen ağ daha yoğun olup, kırmızı ağ üzerindeki en etkili yayının ise Womack JP ve arkadaşları tarafından 1990 yılında yayınlanan "The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production" olduğu görülmektedir. Bu çalışma alandaki ilk çalışma olarak değerlendirilebilir.

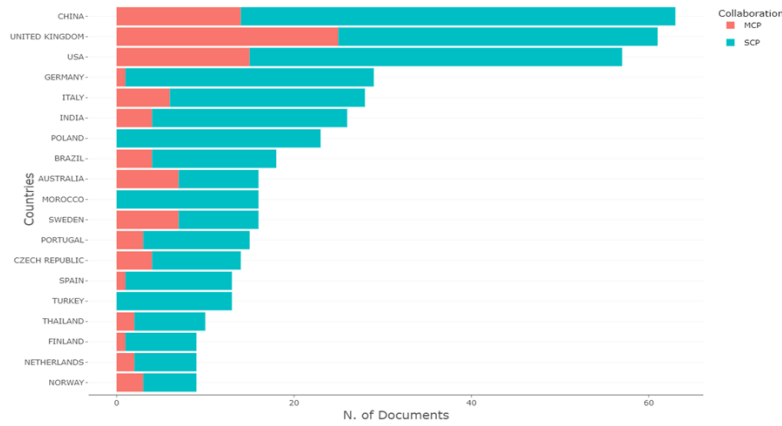
Mavi ile gösterilen ağ üzerindeki en etkili yayın ise " Leagility: Integrating the lean and agile manufacturing paradigms in the total supply chain " başlıklı Naylor J. P ve diğerleri (1999) tarafından yayınlanan makaledir. Bu makale daha önce de bahsedildiği üzere çevik lojistik ve yalın lojistik farklı stratejiler olmasına rağmen, her iki stratejinin tedarik zincirine sağladığı avantajlar göz önünde bulundurularak birleşik bir strateji olarak kullanılmasını önermektedir. Ayrıca bu mavi ağda küresel olarak en çok referans alınan Christopher M. (2000) ve Christopher M. & Towill D. (2001) olmak üzere Christopher M.'nin öne çıktığı da görülmektedir.

Son olarak, yeşil ağda ise yayınların birbirine yakın etkinliğe sahip olduğu ve dairelerin boyutlarının görsel olarak birbirine yakın olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan bu ağda en ilgili makale Garza-reyes, J.A. (2016) ve küresel olarak en çok atıf alan makale Kleindorfer ve Saad (2005) yer aldığı görülmektedir.

Şekil 4'te ise yayınlar ülke iş birlikleri açısından incelenmiştir. Buna göre, SCP ülke içi yazar iş birliğini ifade ederken, MCP birden fazla ülke arasındaki yazar iş birliğini ifade etmektedir.

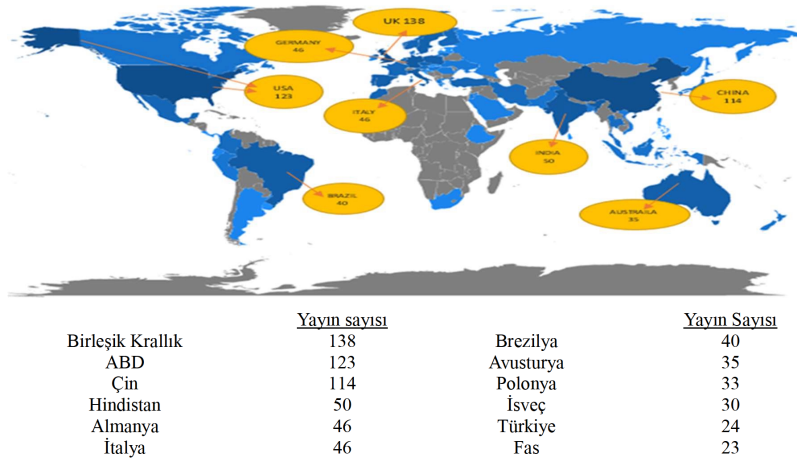
**Şekil 4.** Makaleler Arasındaki Ortak Atıf Ağı

Şekil 5'te, yalın lojistik alanından, analize dahil edilen en ilgili 20 ülke ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Çin'in 60'tan fazla ortak yayınlanmış makale ile en fazla yayına sahip ülke olarak ilk sırada yer aldığı ve Çin'de yazarlar arasındaki iş birliğinin çoğunlukla SCP şeklinde diğer bir deyişle Çin'in araştırmacılarınca yapıldığı görülmüştür. Benzer şekilde Birleşik Krallık, Çin'e göre daha az sayıda çalışma olduğu, yine de alanda 60'tan fazla çalışma bulunduğu tablodan anlaşılmaktadır. Ancak Birleşik Krallık için Çin'den farklı olan durum, çok ülkeli yayın sayısının diğer bir deyişle MCP'nin Çin'e göre daha yüksek olmasıdır. Bu Çin'deki araştırmacıların daha sıklıkla ortak çalışmalarda kendi ülke araştırmacıları ile iş birliğine gittiğini, Birleşik Krallık'taki araştırmacıların Çin'e göre daha uluslararası iş birliği ile, farklı ülke araştırmacıları ile aynı çalışmada rol almayı tercih ettiklerini göstermektedir. Diğer yandan üçüncü sırada yer alan ABD'de yayınlanan makale sayısı 60'tan az olduğu görülmüştür. Dördüncü sırada yayın sayısı olarak 40'ın altında çalışma ile Almanya yer almaktadır. Ayrıca, Almanya'da MCP'nin SCP'ye kıyasla oldukça düşük olması dikkat çekmektedir. Şekil 5'te ilk 20'de yer alan diğer 16 ülke değerlendirildiğinde ise İtalya, Hindistan ve Polonya dışındaki ülkelerde yayınlanan çalışma sayısı 20'den az olduğu görülmektedir. Bu ülkeler içinde Polonya, Fas ve Türkiye için farklı bir durum söz konusudur. Öyle ki bu üç ülkenin MCP skorunun 0 olduğu tespit edilmiştir. Diğer bir ifade ile Polonya, Fas ve Türkiye'de alanda yapılan çalışmaların sadece ülke içi iş birliğinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. Sorumlu Yazarın Ülkesi: Tek Ülkede Üretim (SGP) - Çok Ülkede Üretim (MCP)

Ülkelerin bilimsel üretkenlik haritası ise Şekil 6'da gösterilmektedir. Bilimsel üretkenlik skoru, ülkelerin alana yönelik yapılan çalışma sayısını ifade etmektedir. Şekil 6'da gösterilen haritada ülkelerin bilimsel üretkenliklerinin büyüklüğü, mavi rengin koyuluğu ile paralellik göstermekte olup, koyu mavi ile işaretlenmiş ülkelerin, ülke başına bilimsel üretiminin en yoğun ülkeler olduğu ifade edilmektedir. Daha açık mavi renk tonlarındaki ülkelerin bilimsel üretkenlikleri nispeten daha düşük iken, gri renkli ülkelerde alanda bilimsel çalışmanın bulunmamaktadır. Buna göre yalın lojistik alanındaki ülke başına en yoğun bilimsel üretkenlik sırasıyla Birleşik Krallık (n:138), ABD (n:123) ve Çin (n:114)'tür. Sıralamayı Hindistan (n:50), Almanya (n:46) ve İtalya (n:46) takip etmektedir.



Şekil 6. Ülkelerin Alandaki Bilimsel Üretimi

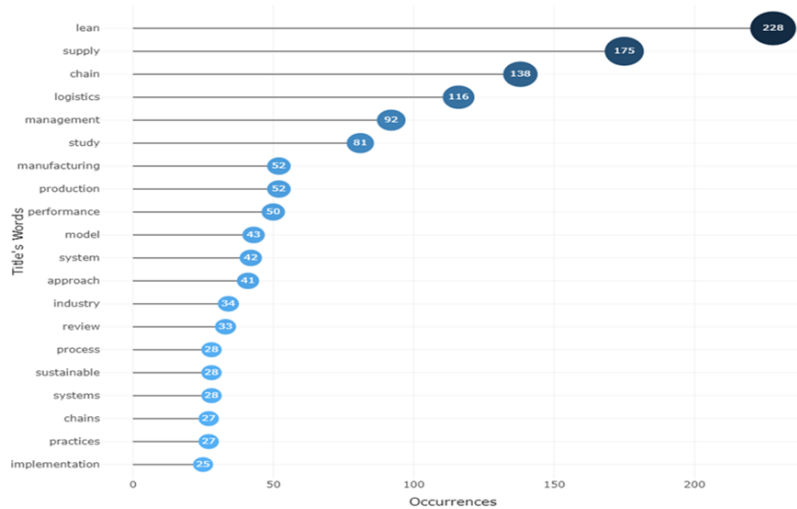
Ülkenin bilimsel üretkenlikleri inceledikten sonra, alanda yayın yapan araştırmacıların bağlı oldukları kurumları incelemek için en ilgili kurumlar Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7. Alanda En İlgili Kurumlar

Kurumlar	2022 yılındaki Toplam Doküman Sayısı	Toplam Doküman Sayısı	Ülke
Cardiff Business School	10	154	Birleşik Krallık
Cranfield University	9	95	Birleşik Krallık
Cardiff University	9	94	Birleşik Krallık
Universidade de Vigo	5	71	İspanya
Arizona State University	7	66	ABD
Istanbul Technical University	8	62	Türkiye
Tianjin University	5	58	Çin
Michigan State University	3	57	ABD
University of Minho	8	56	Portekiz
RMIT University	10	53	Avustralya
University of Derby	10	50	Birleşik Krallık
University of Hull	8	49	Birleşik Krallık
Norwegian University Of Science And Technology	11	47	Norveç
Linköping University	5	44	İsveç
University of International Business and Economics	3	42	Çin
Uni Bremen	3	41	Almanya
Kaunas University of Technology	3	40	Litvanya
Politecnico di Milano	4	38	İtalya
Universidade Federal de Santa Catarina	13	37	Brezilya
University of Cambridge	3	34	Birleşik Krallık

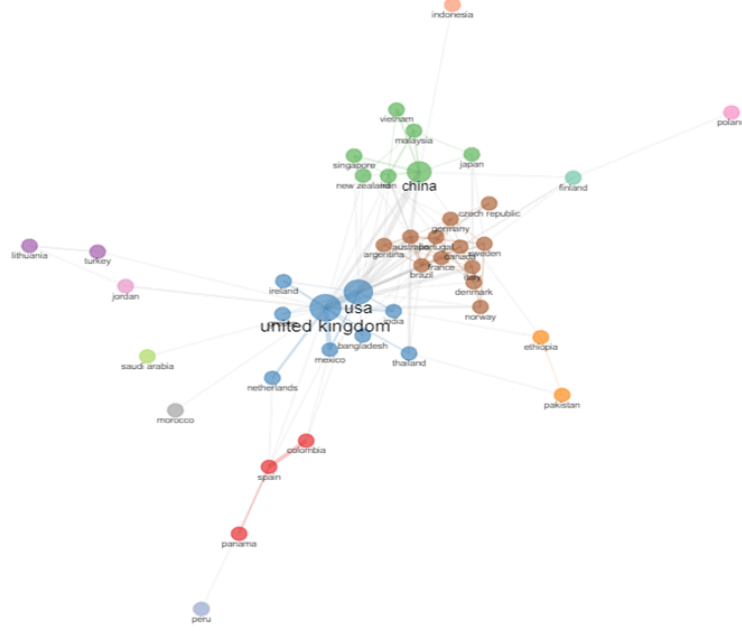
Buna göre, yazarların bağlı olduğu kurumlar arasında en fazla yayın 154 ile Birleşik Krallık’taki Cardiff Business School’a aittir. Bu tablodaki istatistikler, en ilgili bağlantılarda yer alan araştırmacı dokümanlarının sayısını göstermektedir. Bu nedenle ortak yazarlı çalışmalar birden fazla kez sayılmıştır.

Şekil 7, alanla ilgili en sık kullanılan kelimeleri göstermektedir. Bu kelimelerin 0 ile 200’ün üzerinde bir aralıkta kullanım sıklığına sahip olduğu görülmektedir. Diyagramda mavi renkle işaretlenen ilk 20 kelime, her bir kelimenin kullanım sayısının ve yalın lojistik temasıyla ilgisinin karşılaştırmasını göstermektedir. En yüksek kullanım sayısına sahip ve araştırma temasıyla en alakalı kelime, toplam 228 sıklıkla kullanımı olan "lean" kelimesidir ve en alakalı olanlar koyu mavi daire içinde gösterilmiştir. İkinci sırada 175 kez geçme sayısı ile "supply" kelimesi yer almaktadır. Bu sıralamayı 138 kez geçme sayısı ile "chain" ve 116 kez geçme sayısı ile "logistics" kelimeleri takip etmektedir.



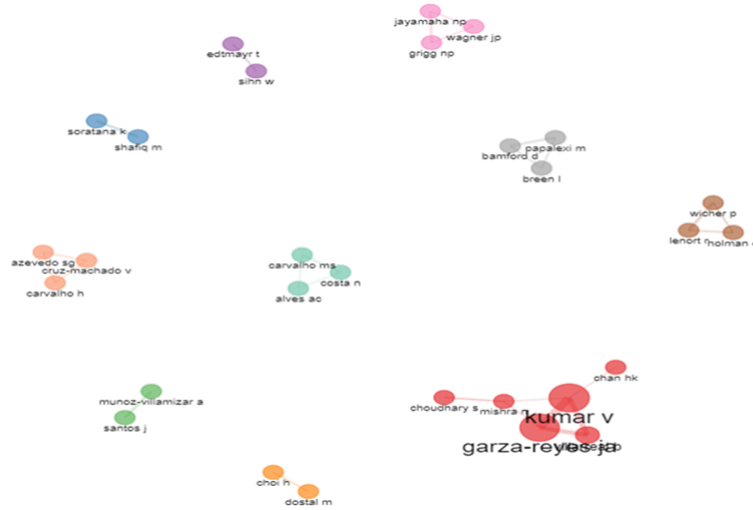
Şekil 7. En Sık Kullanılan Anahtar Kelimeler

Şekil 8, Şekil 9’da ise sırasıyla yalın lojistik temalı çalışmaların yazarları olan ülkeler arasındaki iş birliği ağı gösterilmiştir, Şekil 8, Şekil 9’da gösterilen iş birliği şemaları çalışmanın genel akışında elde edilen sonuçlarla tutarlıdır, öyle ki ülkeler arasında Birleşik Krallık ve ABD, yazarlar arasında ise Garza- Reyes JA ve Kumar V. öne çıkmaktadır. Yine arasındalık ve yakınlık derecelerinde ülkeler arası iş birliğinde ABD ve Birleşik Krallık’ın ön plana çıkan ülkeler olmasının yanı sıra ABD- Birleşik Krallık -Meksika-Hollanda-İrlanda’nın da aynı yakınlık derecesine sahip olduğu görülmüştür. Öte yandan Şekil 5’e göre sırasıyla Avrupa ülkelerinin (yakınlık:0.010-0.0138) ve Asya ülkelerinin (yakınlık:0.009-0.0131) kendi aralarında yoğun bir şekilde iş birliği yaptıkları söylenebilir.



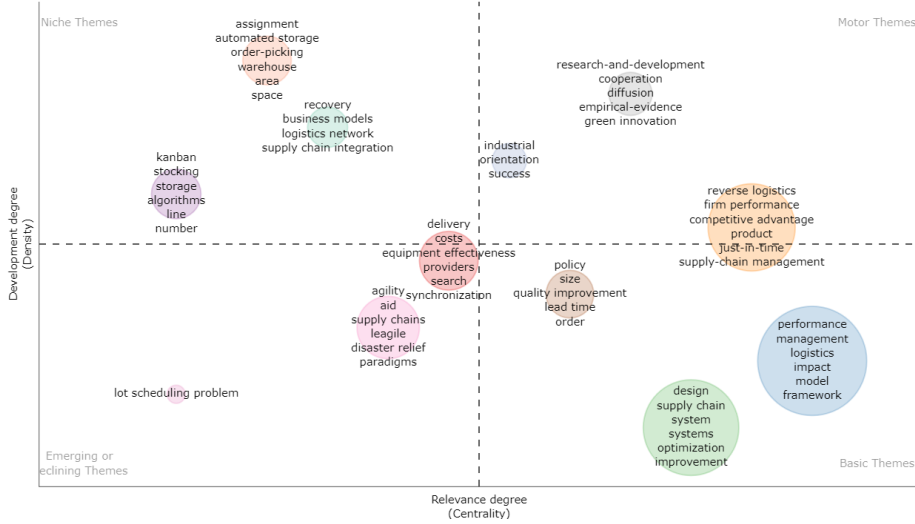
Şekil 8. Yalın Lojistik Temalı Makalelerin Ülkeler Arasındaki İş birliği Ağı

Şekil 9’de yazarlar arasında 11 iş birliği kümesi olduğu görülmektedir. Yazarların yalın lojistik alanında odaklandıkları konular arasındaki ilişki göz önüne alındığında, kümeler arasında çok fazla bağ olmadığı yani konular arasındaki iş birliğinin zayıf olduğu öngörülebilirken, kümelerin odaklandığı konularda iş birliğinin yoğun olduğu söylenebilir. Bu da mevcut araştırmalar arasındaki iş birliğinin sürdürülebilir olduğu şeklinde yorumlanabilir.



Şekil 9. Yalın Lojistik Temalı Makalelerin Yazarları Arasındaki İş birliği Ağı

Araştırma verileri yardımıyla, "yalın lojistik" konusuyla ilgili yayınlara ilişkin anahtar kelimelerden oluşan tematik bir harita Şekil 10'da verilmiştir. Callon ve diğerleri (1991) tarafından ortaya atılan merkezilik ve yoğunluk kavramları, seçilen her bir dönemde belirlenen her bir küme için ağ ölçümleri yapılmasına olanak tanımaktadır. Merkezilik, bir ağın diğer ağlarla etkileşim derecesini ölçer ve bu, ağın dış uyumu olarak ifade edilir. Yoğunluk ise ağın iç gücünü ölçer ve bu da ağın iç uyumu olarak adlandırılır.



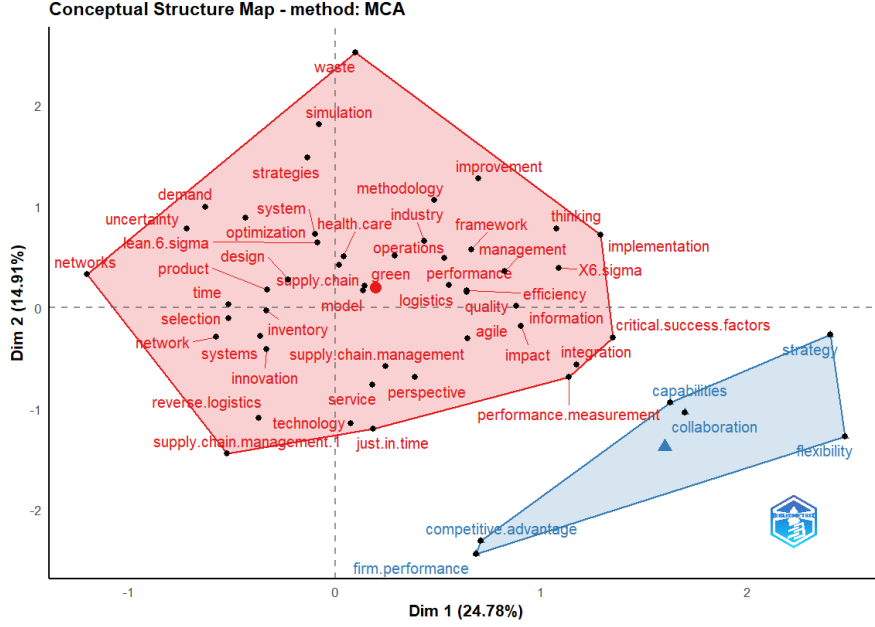
Şekil 10. Tematik Harita

Merkezilik ve yoğunluk derecelerine göre oluşturulan tematik haritanın sağ üst kısmında yer alan kümeler, incelenen dönemin en temel (motor) çalışma alanlarına ait kümeleri göstermektedir. Tematik haritanın sağ alt kısmında yer alan kümeler ise temel ve dönüştürücü parçalardan (temel temalar) oluşmakta, bir başka deyişle ilgilenilen dönemde gelişimini sürdürmektedir. Tematik haritanın sol alt kısmı yeni ortaya çıkan veya gerileyen kümeleri (yükselen veya gerileyen temalar), sol üst kısmı ise üzerinde oldukça fazla çalışma bulunan ancak bu çalışmaların diğer çalışmalardan izole olduğu kümeleri (niş temalar) göstermektedir (Cobo vd., 2012). Buna göre Şekil 9'da görüldüğü üzere tematik haritada 11 küme bulunmakta olup bu kümelerin 2'si temel tema alanlarında, 1'i ise temel tema ile motor teması arasında yer almaktadır. En büyük küme performans (n:90), yönetim (n:81) ve lojistik (n:72) kümesi olup temel temalar ile motor temaları arasındadır. Bu küme yüksek merkeziliğe ve orta yoğunluğa sahiptir. Bu bağlamda, bu kelimelerin alanda gelecekte yapılacak araştırmalar için önemi göz önünde bulundurularak daha da geliştirilebilecek anahtar kavramlar olduğu söylenebilir. İkinci büyük küme tasarım (n:45), tedarik zinciri (n:33) ve sistem (n:28) kelimelerini içeren kümedir ve temel tema alanında yer almaktadır. Bu kelimeler yüksek derecede merkeziliğe, yani dışsal bağdaşıklığa sahip olmakla birlikte, yoğunlukları düşük olduğu için kavramsal alanla içsel bağdaşıklığı düşük olan kavramlardır. Bunu izleyen üçüncü büyük küme ise tersine lojistik (n:19), firma performansı (n:12), rekabet avantajı (n:11) ve tam zamanında (n:9) kavramlarının yer aldığı kümedir. Bu üçüncü büyük küme temel ve motor tema alanları arasında yer almaktadır. Bu kümedeki kelimeler birinci ve ikinci kümedekilerden daha yüksek yoğunluğa ve diğer kümelere kıyasla daha yüksek merkezilik derecesine sahiptir. Motor temalarında iki orta-küçük küme olduğu görülmektedir. Orta büyüklükteki kümede araştırma ve geliştirme (n:3), iş birliği (n:2), yayılma (n:2) kelimeleri; küçük kümede ise sanayi (n:2), yönelim (n:2) ve başarı (n:2) kelimeleri yer almaktadır. Bunlara ek olarak, temel temalardaki diğer kümede politika (n:4), büyüklük (n:4) ve kalite geliştirme (n:3) yer almaktadır. Motor temalarda da yer alan diğer kümede ise politika (n:4), büyüklük (n:4) ve kalite geliştirme (n:3) kelimeleri bulunmaktadır.

Tematik haritanın sol üst kısmında yer alan İzole ve Gelişmiş Temalar bölümünde yoğunluğu yüksek ancak merkezilik derecesi düşük kavramlar yer almaktadır. Niş temalar olarak adlandırılan bölümde ise üç küme bulunmaktadır. Bu kümelerin her birinin büyüklüğü aynı olmakla birlikte, merkeziliği daha yüksek olan, geri kazanım (n:3), iş modelleri (n:2) ve lojistik ağı (n:2) ve tedarik zinciri entegrasyonunu (n:2) içeren kelime kümesidir. Bir diğeri ise kanban (n:3), stoklama (n:3), depolama (n:3) ve algoritma (n:2) kelimelerinin oluşturduğu kümedir. Bu kümenin yoğunluğu ve merkeziliği ilk kümeye göre daha düşüktür. Üçüncü küme diğerlerine kıyasla en yüksek yoğunluğa sahiptir ve atama (n:3), otomatik depolama (n:3), sipariş toplama (n:3) kelimelerini içermektedir. Bunlar hızlı gelişme gösteren alanlar olmakla birlikte, spesifik ve yeterince ele alınmamış konular oldukları söylenebilir. Aynı zamanda bu temadaki kümelerin yalın lojistikle daha doğrudan ilişkili olduğu söylenebilir.

Son olarak, tematik alanın sol alt kısmında yer alan Gelişen veya Kaybolan Temalar alanında, daha önce çalışılmış ancak düşüş eğilimi gösteren, düşük merkeziliğe ve düşük yoğunluğa sahip anahtar kelimeler yer almaktadır. Bu temada kısmen üç küme olduğu söylenebilir.

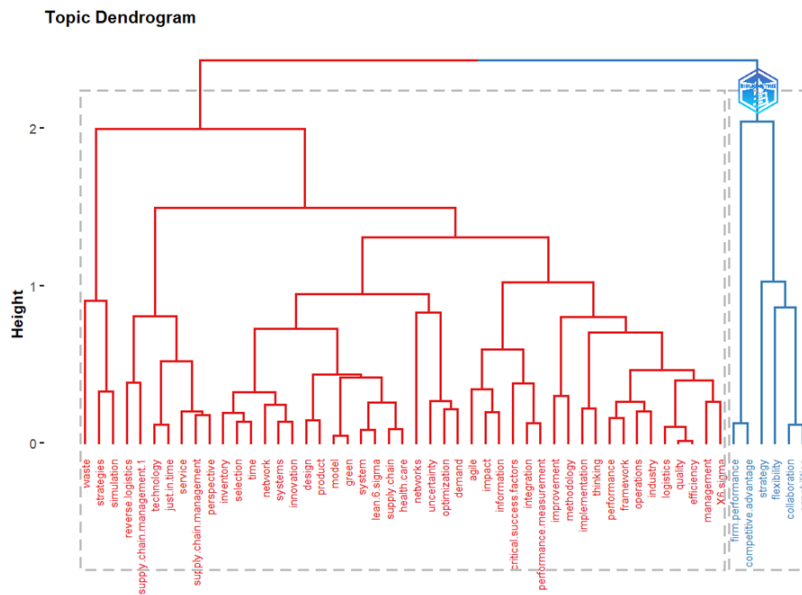
Bu çalışmada, "yalın lojistik" ile ilgili araştırma makalelerinde sıklıkla kullanılan her bir kelimenin kavramsal yapı haritasına da yer verilmiştir. Şekil 11’de gösterilen kavramsal yapı haritasında, ilgili kelimeler arasında bir eşleşme üretmek için kırmızı ve mavi olmak üzere iki ayrı alan gösterilmiştir. Kırmızı alanda daha fazla kavram olduğu ve altı sigma, atık, tam zamanında gibi alanla doğrudan ilgili kelimelerin daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 11. Kavramsal Yapı Haritası

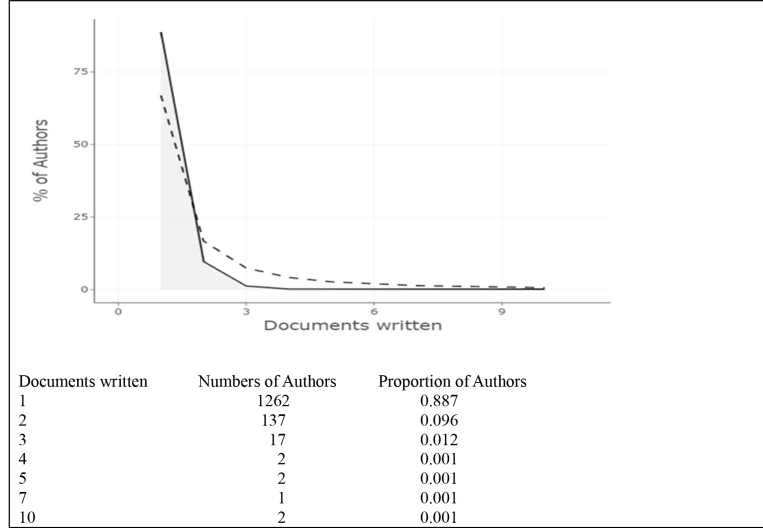
Mavi alanda ise firma performansı, iş birliği, kabiliyetler, esneklik, firma stratejisi ve rekabet avantajı gibi doğrudan SCM faaliyetlerinin performansı ile ilgili kavramlar yer almaktadır.

Şekil 12’de alanda en sık kullanılan konuları ve bunların diğer konularla ilişkisini gösteren bir dendrogram ağaç diyagramı verilmiştir. Şekil 10’a benzer şekilde, Şekil 11’de kırmızı ve mavi olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır ve kırmızı alanda yalın lojistiğe uygun daha fazla kelime bulunmaktadır.



Şekil 12. Alanda En Çok Üzerinde Durulan Konu Dendrogramı

Son olarak, Lotka yasasına göre yalın lojistik alanının bilimsel verimlilik dağılımı incelenmiş ve Şekil 13’de gösterilmiştir. Lotka yasası, bir alana tek yayına katkıda bulunan araştırmacıların tüm yayınlara oranının %60; 2 yayına katkıda bulunan araştırmacıların tek yayına katkıda bulunanlara oranının 1/4’ü; 3 yayına katkıda bulunanların oranının ise 1/9’u olması gerektiğini ifade etmektedir (Lotka, 1926).



Şekil 13. Lotka Yasası

Şekil 13’de alanda yayın yapan araştırmacıların %88,7’sinin sadece bir yayın yaptığı, iki yayın yapan yazarların oranının %9,6 olduğu, geriye kalan %1,5’lik kesimin ise alanla ilgili 3’ten fazla çalışma yaptığı görülmektedir. Bu bağlamda yalın lojistik ana teması üzerine yapılan çalışmalar Lotka yasasına göre değerlendirildiğinde ilgili literatürün yetersiz olduğu ve geliştirilmesi gerektiği sonucuna varılmaktadır.

Sonuç ve Tartışma

Küreselleşme şiddeti gün geçtikçe artan dünyamızda uluslararası ticaretin en büyük destekçisi olan lojistik sektörünün performansının artması için süreçlerdeki kaynak israfının önlenmesi stratejik öneme sahiptir. Yalın lojistik, kaynak israfını önlerken hem zaman hem de maliyet avantajı ile tedarik zinciri veya yalın üretim süreçlerinin de performansına doğrudan veya dolaylı etki edebilmektedir. Diğer yandan yalın lojistiğin çevresel etkileri de sürdürülebilirlik açısından da dikkate alınmaktadır. Alan yazın incelendiğinde genellikle yalın üretim ve yalın tedarik zinciri kavramları altında yalın lojistik konusunda ilgili çalışmaların olduğu ve güncelliğini devam ettirdiği görülmektedir.

Çalışmanın zaman aralığı olan 1994-2022 yılları arasında, uluslararası alan endekli dergilerin yer aldığı WoS veri tabanında başlık, anahtar kelime vb. herhangi bir sınıflandırma olmadan “yalın lojistik (lean logistics)” aramasıyla ulaşılan 559 çalışma incelendiğinde, alanda yayımlanan çalışma sayısının özellikle 2005 ve sonrasında arttığı; ortalama olarak en fazla 2015-2020 yılları arasında yayın yapıldığı belirlenmiştir. Bu durum, 1940’larda ortaya çıkan yalın düşünce felsefesinin, 2000’li yıllar sonrasında boyut değiştiren ve ekonomik katma değeri olan bir sektör haline gelen lojistiğin ülke ekonomileri ve küresel ticaretteki önem kazanmasıyla ilişkilendirilebilirken, diğer yandan yalın lojistiğin teknolojiyle (Blockchain, Internet of Things, otomasyon sistemleri vb.) olan ilişkisinin de etkili olduğu düşünülmektedir. Diğer yandan yalın lojistik konusunda literatürüne ait büyük resmine bakıldığında küreselleşmenin olumsuz etkilerinden korunmak amacıyla önem kazanan yeşil lojistik ve sürdürülebilirlikle ilişkili olarak ele alındığı görülebilmektedir.

Bu çalışmada “yalın lojistik” alanında yıllara göre çalışma sayısının nasıl geliştiğinin yanı sıra alanda mevcut literatürün genel eğilimleri, en ilgili yazar, en ilgili dergi, kurum, ülke ve ülke-yazar iş birliklerinin, tercih edilen anahtar kelimeler, alanda çok çalışılan temalar, güncel ve geliştirilmesi gereken temalar belirlenerek, alanda çalışmak isteyen yeni araştırmacılara ve uygulamacılara bibliyometrik bilgiler ve özet istatistikler sunulmuştur. Söz konusu bibliyometrik analizler ve özet istatistikler için R studio Biblioshiny Bibliometrix programı kullanılmış, ilgili görseller eklenmiştir.

Çalışmanın bulguları, literatürde yer alan alandaki bibliyometrik analizlerin sonuçlarıyla özellikle alandaki araştırmacılar ve ilgili kaynaklar bağlamında benzerlikler gösterirken, “yalın lojistik” temasına göre sıralama olarak daha önce yapılan “yalın üretim” veya “yalın tedarik zinciri” temalarından farklılıklar göstermektedir. Örneğin, analiz sonucunda alandaki en üretken kaynağın Production Planning & Control olduğu belirlenirken, literatürde yer alan diğer bibliyometrik analizler de öne çıkan International

Journal of Production Research (De Sousa vd.,2018; Ciano vd.,2019; Garcia-Buendia vd.,2021; Özdağoğlu vd.,2022; Kumar vd.,2023) dergisinin de “yalın lojistik” alanında en üretken yedinci kaynak; ancak atıf sayısına göre en ilgili kaynak olarak tespit edilmiştir. Bu bağlamda yalın lojistik alanındaki araştırmalar için başvurulacak en etkili kaynaklardan biri olarak International Journal of Production Research dergisinin ayrıca incelenmesi yararlı olacaktır. Bu kaynağın yanı sıra International Journal of Production Economics, Sustainability, International Journal of Lean Six Sigma ve International Journal of Logistics Research and Applications dergileri de önemli kaynaklardır. Çalışmanın bir diğer bulgularından alandaki en ilgili yazarların sırasıyla Garza-Reyes J.A., Kumar V. ve Tortorella G. olduğu belirlenmiştir. En ilgili yazarların yayınlarının öncelikli olarak incelenmesi ayrıca önerilmektedir. Diğer yandan yalın üretimin en önemli tamamlayıcı parçalarından bir olan yalın lojistik konusunu, yalın üretim kapsamında ele alacak araştırmacılar için yalın üretim konusunda en ilgili yazar olan Tortorella G.’nin (Özdağoğlu vd.,2022; Kumar vd.2023) ayrıca takip edilmesi önemli olacaktır.

Yalın lojistik alanında yayınlanan çalışmalar yazarlarının ülkeleri açısından değerlendirildiğinde en fazla yayının açık ara Birleşik Krallık, ABD ve Çin’den olduğu görülmüştür. Literatürdeki diğer bibliyometrik analizlerde yalın üretim ve yalın TZY alanında ülke üretkenliği konusunda sıklıkla adından söz ettiren Hindistan (De Sousa vd.,2018; Garcia- Buendia vd.,2021; Kumar vd.,2023) ise yalın lojistik konulu araştırmalar için 4. Sırada yer almaktadır. Alandaki çalışmalarda ülke iş birliğinde benzer şekilde Birleşik Krallık, ABD ve Çin sıralaması ön plana çıkmaktadır. Bu kapsamda söz konusu ülkelerdeki araştırmacıların alanla en ilgili araştırmacılar olduğunu söylemek mümkündür. Diğer yandan Polonya, Fas ve Türkiye’nin alandaki ülke iş birliklerinin sıfır olması dikkat çekicidir. Söz konusu ülkeler alanda yayın yapan ilk 20 ülke arasındadır ancak bu ülkeler için tek ülkeli, diğer bir ifade ile ulusal iş birlikleri söz konusudur. Her üç ülkedeki araştırmacılar için uluslararası iş birliğine gidilmesi önerilirken, uluslararası iş birliği ile alandaki ülke üretimin artmasının ve elde edilebilecek yeni bilimsel bilginin uygulanabilirliğinin de bu yolla mümkün olacaktır.

Bibliyometrik analizlerdeki bulgulardan birisi alanda kullanılan anahtar kelimelerdir: Bu çalışmanın bulgularına göre yazarların en sık tercih ettiği anahtar kelimeler: *yalın, yalın üretim, değer akış haritalama, tedarik zinciri yönetimi, sağlık, yalın düşünce, yalın imalat, çeviklik, sürdürülebilirlik, yalın altı sigma* olarak belirlenirken, yazarların araştırma başlıklarında sıklıkla *yalın, tedarik zinciri, lojistik, yönetim ve çalışma* kelimelerini kullandığı belirlenmiştir. Bu anahtar kelimelerin alandaki ilgili yayınlara ulaşma konusunda kullanılması zaman avantajı sağlayabilecektir.

Alandaki çalışmaları araştırılan temalar açısından da detaylı olarak incelenmiştir: araştırma sonucunda maliyet ve zaman avantajları nedeniyle önem kazanan yalın lojistik alanındaki belgelerin daha çok yeşil kavramlar ve sürdürülebilirlik kavramı ile ilgili olduğu belirlenmiştir. Alandaki çalışmalarda *politika, kalite yönetimi, yükleme zamanı, sipariş, just in time, tedarik zinciri yönetimi, performans, etki, model* gibi temel temaların söz konusunu araştırma döneminde gelişimini sürdürdüğü; *AR-GE, iş birliği, difüzyon, yeşil inovasyon, tersine lojistik, firma performansı, rekabet avantajının* ise alandaki motor diğer ifade ile en temel temalar olduğu görülmüştür. Alanda yeni araştırmacılara rehber olacak ve literatüre katma değer yaratabilecek, üzerine çalışılmış ancak alandaki diğer çalışmalardan izole durumda olan temalar ise *kanban, depolama, üretim hattı, lojistik ağ, otomatik stoklama, sipariş toplama, tedarik zinciri entegrasyonu* olarak belirlenmiştir. Araştırmacıların yalın lojistik alanındaki çalışmalarını izole temalar ile bağdaştırması alandaki çalışma ağındaki etkileşimi de destekleyebilecektir.

Diğer yandan çalışmada ilgili zaman aralığındaki yayınlarda bağlamında araştırmacıların bilimsel üretkenliği incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre araştırmacıların neredeyse tamamının yalın lojistik literatürüne sadece bir yayın ile katkı sağladığı tespit edilmiştir. Lotka yasası ile yorumlanan bu sonuç, yalın lojistik literatürünün yetersiz olduğunu ve geliştirilmesi gerektiğini ortaya çıkarmaktadır. Bu bağlamda araştırmacıların ulusal veya uluslararası iş birliğine gitmesi ayrıca önemlidir.

Son olarak bu çalışma, WoS veri tabanında anahtar kelime, başlık ve özetinde "yalın lojistik" kavramı geçen çalışmalardan, atıf konusu olarak yönetim, tedarik zinciri & lojistik, ekonomi, yöneylem araştırması & yönetim bilimi, ulaştırma belirlenerek filtrelenmiştir. Bu çalışmanın sosyal bilimler ve endüstri mühendisliği alanına indirgenmesi çalışmanın bir sınırlılığıdır. Bu bağlamda, gelecekteki araştırmacılara, herhangi bir alan ayrımı olmaksızın "yalın lojistik" ile ilgili tüm çalışmaların bibliyometrik olarak incelenmesini önermek yerine, daha spesifik olmak adına sadece yönetim veya sadece tedarik zinciri ve lojistik alanlarına odaklanmaları tavsiye edilebilir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazar çıkar çatışması beyan etmemişlerdir.

Finansal Destek: Yazar finansal destek beyan etmemişlerdir.

Peer Review: Externally peer-reviewed.

Conflict of Interest: Author declared no conflict of interest.

Financial Disclosure: Author declared no financial support.

Yazarın ORCID ID'si / ORCID ID of the authors

Handan Öztemiz 0000-0002-4446-6887

KAYNAKLAR / REFERENCES

- Aguilar-Escobar, V. G., & Garrido-Vega, P. (2012). Lean logistics management in healthcare: a case study. *Revista de calidad asistencial: organo de la Sociedad Española de Calidad Asistencial*, 28(1), 42-49. <https://doi.org/10.1016/j.cali.2012.07.001>
- Al, U. (2008). Bilimsel yayınların değerlendirilmesi: h-endeksi ve Türkiye'nin performansı. *Bilgi Dünyası*, 9(2), 263-285. <https://doi.org/10.15612/BD.2008.307>
- Alejandro-Chable, J. D., Salais-Fierro, T. E., Saucedo-Martínez, J. A., & Cedillo-Campos, M. G. (2022). A New Lean Logistics Management Model for the Modern Supply Chain. *Mobile Networks and Applications*, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11036-022-02018-1>
- Alp, F. & Akalın, B. (2023). Yalın Yönetim Alanında Yürütülen Lisansüstü Tezlerin Bibliyometrik Analizi (1996-2022). *Sağlık ve Sosyal Refah Araştırmaları Dergisi*, 5(1), 114-125. <https://doi.org/10.55050/sarad.1217336>
- Arango Serna, M. D., Gil Gomez, H., & Zapata Cortes, J. A. (2009). Lean logistics applied to transport in the miner sector. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (25), 121-136.
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of informetrics*, 11(4), 959-975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Baker, H. K., Kumar, S., Pattnaik, D. (2019). Twenty-five years of reviews of financial economics: a bibliometric overview. *Review of Financial Economics*. 1-21 <https://doi.org/10.1002/rfe.1095>
- Baudin, M. (2004). *Lean Logistics: The Nuts and Bolts of Delivering Materials and Goods*, Productivity Press, New York
- Blackhurst, J., Dunn, K. S., & Craighead, C. W. (2011). An empirically derived framework of global supply resiliency. *Journal of business logistics*, 32(4), 374-391. <https://doi.org/10.1111/j.0000-0000.2011.01032.x>
- Bornmann, L., Mutz, R., & Daniel, H. D. (2008). Are there better indices for evaluation purposes than the h index? A comparison of nine different variants of the h index using data from biomedicine. *Journal of the American Society for Information Science and technology*, 59(5), 830-837. <https://doi.org/10.1002/asi.20806>
- Bowersox, D. J. ve Closs, D. J. ve Cooper, M. B. (2002). *Supply Chain Logistics Management*, International Edition, Mc Graw Hill.
- Buzdik, R., Wojtynek, L. & Kulinska, E. (2019, December). *Lean Six Sigma Implementation in Logistics Company*. 8th Carpathian Logistics Congress. Prague, Czech Republic
- Callon, M., Courtial, J. P., & Laville, F. (1991). Co-word analysis as a tool for describing the network of interactions between basic and technological research: The case of polymer chemistry. *Scientometrics*, 22(1), 155-205.
- Cao, C.Z (2007, May). *Lean logistics in e-business*. 6th Wuhan International Conference on E- Business. Wuhan, China.
- Chen, I. J., & Paulraj, A. (2004). Understanding supply chain management: critical research and a theoretical framework. *International Journal of production research*, 42(1), 131-163. <https://doi.org/10.1080/00207540310001602865>
- Christopher, M. (2000). The agile supply chain: competing in volatile markets. *Industrial marketing management*, 29(1), 37-44. [https://doi.org/10.1016/S0019-8501\(99\)00110-8](https://doi.org/10.1016/S0019-8501(99)00110-8)
- Christopher, M., & Towill, D. (2001). An integrated model for the design of agile supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 31(4). 235-246. <https://doi.org/10.1108/09600030110394914>
- Ciano, M. P., Pozzi, R., Rossi, T., & Strozzi, F. (2019). How IJPR has addressed 'lean': a literature review using bibliometric tools. *International Journal of Production Research*, 57(15-16), 5284-5317. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1566667>
- Citybabu, G., & Yamini, S. (2023). Lean Six Sigma and Industry 4.0—a bibliometric analysis and conceptual framework development for future research agenda. *International Journal of Productivity and Performance Management*. 72 (1). 1-23. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-12-2021-0681>
- Cobo, M. J., Lopez-Herrera, A.G., Herrera-Viedma, E, et al. (2012). SciMAT: a new science mapping analysis software tool. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 63, 1609-30. <https://doi.org/10.1002/asi.22688>
- Dal Forno, A. J., & Forcellini, F. A. (2012). Lean product development—principles and practices. *Product: Management and Development*, 10(2), 131-143. <http://dx.doi.org/10.4322/pmd.2013.007>
- De Haan, J., Naus, F., & Overboom, M. (2012). Creative tension in a lean work environment: Implications for logistics firms and workers. *International Journal of Production Economics*, 137(1), 157-164. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.11.005>

- De Sousa, T. B., Furtado, F. R. C., da Silva Ferri, O. E., Batista, A., Varella, W. A., Pinto, C. E., ... & Júnior, L. A. P. (2018). Scientific Production on Lean Supply Chains Published in Journals Indexed by SCOPUS and Web of Science Databases: A Bibliometric Study. *International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering*, 12(6), 835-842.
- Dolak, R. & Suchanek, P. (2015). Lean Company Research in Manufacturing Companies in the Czech Republic. *Proceeding of the 12th International Conference Liberec Economic Forum*. 36-45.
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133 (2021), 285-296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Egghe, L. (2006). An improvement of the h-index: The g-index. *ISSI newsletter*, 2(1), 8-9., 285-296.
- Endler, K. D., Scarpin, C. T., & Steiner, M. T. A. (2018). A bibliometric analysis of scientific production in lean supply. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 31(1), 82-108.
- Escuder, M., Tanco, M., Muñoz-Villamizar, A., & Santos, J. (2020). Can Lean eliminate waste in urban logistics? A field study. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 71(2), 558-575.
- Fallas-Valverde, P., J Quesada, H., & Madrigal-Sánchez, J. (2018). Implementation of lean thinking principals to logistic activities: a case study in a wood forest industry. *Revista Tecnología en Marcha*, 31(3), 52-65.
- Fetscherin, M., & Heinrich, D. (2015). Consumer brand relationships research: A bibliometric citation meta-analysis. *Journal of Business Research*, 68(2), 380-390. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2014.06.010>
- Frontoni, E., Rosetti, R., Paolanti, M., & Alves, A. C. (2020). HATS project for lean and smart global logistic: A shipping company case study. *Manufacturing Letters*, 23, 71-74. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2019.12.003>
- García-Buendía, N., Moyano-Fuentes, J., Maqueira-Marín, J. M., & Cobo, M. J. (2021). 22 Years of lean supply chain management: a science mapping-based bibliometric analysis. *International Journal of Production Research*, 59(6), 1901-1921. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1794076>
- Garza-Reyes, J. A., Villarreal, B., Kumar, V., & Molina Ruiz, P. (2016). Lean and green in the transport and logistics sector—a case study of simultaneous deployment. *Production Planning & Control*, 27(15), 1221-1232. <https://doi.org/10.1080/09537287.2016.1197436>
- Gligor, D. M., & Holcomb, M. C. (2012). Understanding the role of logistics capabilities in achieving supply chain agility: a systematic literature review. *Supply Chain Management: An International Journal*, 17(4), 438-453. <https://doi.org/10.1108/13598541211246594>
- Golicic, S. L., & Smith, C. D. (2013). A meta-analysis of environmentally sustainable supply chain management practices and firm performance. *Journal of supply chain management*, 49(2), 78-95. <https://doi.org/10.1111/jscm.12006>
- Iyengar, V., & Bharathi, S. V. (2018). Bibliometric analysis of lean, agile, and leagile supply chains in automobile industry (1990-2017). *International Journal of Information Systems and Supply Chain Management (IJISSCM)*, 11(3), 22-45. <https://doi.org/10.4018/IJISSCM.2018070102>
- Hines, P., & Rich, N. (1997). The seven value stream mapping tools. *International Journal Of Operations & Production Management*. 17(1).46-64. <https://doi.org/10.1108/01443579710157989>
- Hirsch, J. E. (2005). An index to quantify an individual's scientific research output. *Proceedings of the National academy of Sciences*, 102(46), 16569-16572. <https://doi.org/10.1073/pnas.0507655102>
- Khlie, K., Serrou, D., & Abouabdellah, A. (2016, October). The impact of Lean-logistics and the information system on the information flow management within the healthcare supply chain. In *2016 11th International Conference on Intelligent Systems: Theories and Applications (SITA)* (pp. 1-5). IEEE.
- Kleindorfer, P. R., & Saad, G. H. (2005). Managing disruption risks in supply chains. *Production and Operations Management*, 14(1), 53-68. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1937-5956.2005.tb00009.x>
- Koh, S. L., Demirbag, M., Bayraktar, E., Tatoglu, E., & Zaim, S. (2007). The impact of supply chain management practices on performance of SMEs. *Industrial Management & Data Systems*. 107 (1). 103-124. <https://doi.org/10.1108/02635570710719089>
- Kumar, N., Singh, A., Gupta, S., Kaswan, M.S. and Singh, M. (2023), Integration of Lean manufacturing and Industry 4.0: a bibliometric analysis, *The TQM Journal*, <https://doi.org/10.1108/TQM-07-2022-0243>
- Li, S., Rao, S. S., Ragu-Nathan, T. S., & Ragu-Nathan, B. (2005). Development and validation of a measurement instrument for studying supply chain management practices. *Journal Of Operations Management*, 23(6), 618-641. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2005.01.002>
- Liang, D., & Wang, H. (2013). Study on the development strategy of lean logistics for automobile enterprises under green supply chain environment. In *Applied Mechanics and Materials* 397, 2677-2680. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.397-400.2677>
- Lotka, A. J. (1926). The frequency distribution of scientific productivity. *Journal of the Washington academy of sciences*, 16(12), 317-323.
- Lyonnet, B. (2016). Assessment of Logistic Information Systems: The Contribution of Lean Management- Application Case in the Maritime and Port Sector. *Proceeding of the 2015 International Conference on Advanced Manufacturing and Industrial Application*. 33,57-60. <https://doi.org/10.2991/icamia-15.2015.14>
- Martínez-Jurado, P. J., & Moyano-Fuentes, J. (2014). Lean management, supply chain management and sustainability: a literature review. *Journal of Cleaner Production*, 85, 134-150. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.09.042>
- Mollenkopf, D., Stolze, H., Tate, W. L., & Ueltschy, M. (2010). Green, lean, and global supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.40 (1/2). 14-41. <https://doi.org/10.1108/09600031011018028>
- Mücevher, M. H. (2021). Sürdürülebilir lojistik için üç öncelikli strateji: Yeşil lojistik, tersine lojistik ve yalın lojistik. *Enderun*, 5(1), 39-54.
- Naylor, J. B., Naim, M. M., & Berry, D. (1999). Leagility: Integrating the lean and agile manufacturing paradigms in the total supply chain. *International Journal Of Production Economics*, 62(1-2), 107-118. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(98\)00223-0](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(98)00223-0)
- Nowicka-Skowron, M. & Ulewicz, R. (2017, November). Lean Tools Influence On The Logistic Process In Production Company. *Carpathian Logistics Congress*. Zakopane, Poland.

- Oliveira-Dias, D., Garcia-Buendia, N., Maqueira-Marín, J. M., & Moyano-Fuentes, J. (2021). Information technologies and lean and agile supply chain strategies: a bibliometric study through science mapping. *International Journal of Business Environment*, 12(4), 338-363. <https://doi.org/10.1504/IJBE.2021.118568>
- Özdağoğlu, G., Özdağoğlu, A., & Damar, M. (2022). Web Of Science Süzgecinden Yalın Üretim Araştırma Portföyü: Nereden Başlamalıyız? *Verimlilik Dergisi*, (2), 213-230. <https://doi.org/10.51551/verimlilik.900359>
- Özkan, O., Bayın, G. ve Yeşilaydın, G. (2015). Sağlık Sektöründe Yalın Tedarik Zinciri Yönetimi, *Online Academic Journal of Informatiol Technology*, 6(18): 71-94. <https://doi.org/10.5824/1309-1581.2015.1.005.x>
- Praharsi, Y., Jami'in, M. A., Suhardjito, G., & Wee, H. M. (2021). The application of Lean Six Sigma and supply chain resilience in maritime industry during the era of COVID-19. *International Journal of Lean Six Sigma*, 12(4), 800-834. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-11-2020-0196>
- Patra, S. K., Bhattacharya, P. and Verma, N. (2006). Bibliometric Study of Literature on Bibliometrics, *DESIDOC Journal of Library & Information Technology*, 26(1): 27-32.
- Perboli, G., Musso, S., & Rosano, M. (2018). Blockchain in logistics and supply chain: A lean approach for designing real-world use cases. *IEEE Access*, 6, 62018-62028. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2875782>
- Pritchard, A. (1969). Statistical Bibliography or Bibliometrics? *Journal of Documentation*. 25: 348-349. Raghuram, S., Tuertscher, P., & Garud, R. (2010). Research Note—Mapping the Field of Virtual Work: A Cocitation Analysis. *Information Systems Research*, 21(4), 983-999. <https://doi.org/10.1287/isre.1080.0227>
- Raji, I. O., Shevtshenko, E., Rossi, T., & Strozzi, F. (2021). Industry 4.0 technologies as enablers of lean and agile supply chain strategies: an exploratory investigation. *The International Journal of Logistics Management*, 32(4), 1150-1189. <https://doi.org/10.1108/IJLM-04-2020-0157>
- Rodrigues, V.S. & Kumar, M. (2019). Synergies and Misalignments in lean and green practices: a logistics industry perspective. *Production Planning & Control*. 30 (5-6). 369-384.
- Rusydia, A.S. (2021). Bibliometric analysis of journals, authors, and topics related to COVID-19 and Islamic finance listed in the Dimensions database by Biblioshiny. *Science Editing*, 8(1), 72-78. <https://doi.org/10.6087/kcse.232>
- Serrou, D., Khlie, K. & Abouabdellah, A. (2016, October). Improvement of the lean-maintenance by hospital logistics. 2016 4th. IEE International Colloquium on information science and technology.. <https://doi.org/10.1109/CIST.2016.7805047>
- Shah, R., & Ward, P. T. (2003). Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of operations management*, 21(2), 129-149. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(02\)00108-0](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(02)00108-0)
- Silva, A. J. V. (2015). Incorporating of lean manufacturing techniques in supply chain of automotive company: Amelec Jesus Vilorio Silva. In *Computing, Control, Information and Education Engineering*. 843-84.
- Small, H. (1973). Co-citation in the scientific literature: A new measure of the relationship between two documents. *Journal of the American Society for Information Science*, 24(4), 265-269. <https://doi.org/10.1002/asi.4630240406>
- Socconini, L. (2019). *Lean manufacturing. Paso a paso*. Marge books.
- Sopadang, A., Wichaisri, S., & Sekhari, A. (2014, August). The conceptual framework of lean sustainable logistics. *International Conference on Transportation and Logistics, Malaysia*.
- Sopadang, A., & Wichaisri, S. (2021). The role of lean sustainable logistics in business operations. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 39(1), 111-126. <https://doi.org/10.1504/IJLSM.2021.115078>
- Subramanyam, K. (1983). Bibliometric studies of research collaboration: A review. *Journal of Information Science*, 6(1), 33-38. <https://doi.org/10.1177/016555158300600105>
- Szabo, L., Richnák, P., & Gubová, K. (2021). New dimension of logistics innovations development in agricultural enterprises in Slovakia. *Agricultural Economics*, 67(4), 136-143. <https://doi.org/10.17221/444/2020-AGRICECON>
- Taddeo, R., Simboli, A., Di Vincenzo, F., & Ioppolo, G. (2019). A bibliometric and network analysis of Lean and Clean (er) production research (1990/2017). *Science of the Total Environment*, 653, 765-775. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.412>
- Tang, K. Y., Chang, C. Y., & Hwang, G. J. (2021). Trends in artificial intelligence-supported e-learning: A systematic review and co-citation network analysis (1998-2019). *Interactive Learning Environments*. 31(4).2134-2152. <https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1875001>
- Teng, J., Wang, J. H., & Teng, L. (2019). Application And Evaluation Of Lean Logistics Management In First Affiliated Hospital Of Xinjiang Medical University. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(8), 5820-5829.
- Tortorella, G., Giglio, R., Fettermann, D. C., & Tlapa, D. (2018). Lean supply chain practices: an exploratory study on their relationship. *The International Journal of Logistics Management* .29(3).1049-1076. <https://doi.org/10.1108/IJLM-06-2017-0141>
- Van Raan, A. F. J. (2004) Measuring science. *Capita selecta of current main issues*. In: *Handbook of quantitative science and technology research*. Moed, H. F., W. Glänzel & U. Schmock. Kluwer (Eds.) The use of publication and patent statistics in studies of S&T systems (pp.19-50). Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London.
- Vasiliauskas, A. V, Macijauskytė, I., Vitkūnas, R., Zinkevičiūtė, V., & Pavlova, J. (2014, May). A Model of Implementing Lean Logistics Principles in Lithuanian Transport Enterprises. The 8th international scientific conference "Business and Management 2014". Vilnius, Lithuania
- Wallin, J. A. (2005). Bibliometric Methods: Pitfalls and Possibilities. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*, 97: 261-275. https://doi.org/10.1111/j.1742-7843.2005.pto_139.x
- Wang, J.H., Zhang, X. & Fang, S.F. (2006, August). Application of lean logistics in Chinese Vehicle Industry. *Proceeding of the 13th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*. (1-5). 728-733.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The Machine that Changed the World: The Story of Lean Production*. Harperperennial, New York.

- Womack, J. and Jones, D. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*, Simon & Schuster, New York
- Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 530-535. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>
- Xuming, S.G. (2011). Optimize Logistics System With Lean Thinking. *International Conference on Future Informantion Engineering. (ICFIE 2011)*, 8, 148-153.
- Zhang, L. (2015). Lean production “with Chinese characteristics”: A case study of China’s automobile industry. *International Journal of Sociology*, 45(2), 152-170. <https://doi.org/10.1080/00207659.2015.1061861>
- Zhang, C.L. & Yang, H. J. (2010, November). Study on Value Management Mode of Transport Resources in Lean Agricultural Products Logistics. *Proceeding of 2010 International Conference on Information Technology and Industrial Engineering*, 1-2 ().171-174.

Atf Biçimi / How cite this article

- Öztemiz, H. (2024). Biometric Analysis on Lean Logistics: WOS Database (1994 –2022). *Journal of Transportation and Logistics* 9(1), 153-174. <https://doi.org/10.26650/JTL.2024.1355860>

A Bibliometric Analysis of Simulation Studies in the Field of Container Logistics Using VOSviewer

Mehmet Gürtürk¹ , Bükra Doganer Duman² 

¹(Res. Assist.), Çanakkale Onsekiz Mart University, International Trade Logistics and Management, Çanakkale, Türkiye

²Istanbul University, Faculty of Transportation and Logistics, İstanbul, Türkiye

ABSTRACT

Productive and uninterrupted operation of ports and their provision of value-added services to customers have become necessities brought about by competition. A performance measurement tool is needed in ports to ensure that the service ports provide is uninterrupted and productive. Four basic logistics processes occur in container terminals: ship operations, transportation, storage, and handling of containers in the port area. Thus, this study aims to develop a logistics-oriented decision support model that will function as a decision support tool for port management to help in understanding, analyzing, and evaluating a port's logistics structure and port performance indicators for planning port capacity, increasing port productivity, improving intra-port logistics processes, and predicting a port's future needs. This study offers an extensive analysis of the literature on simulating the processes in container terminals using the bibliometric analysis method. The study preforms an in-depth analysis of 51 studies in the Scopus database. The study also performs co-citation and author-keyword analyses on the obtained data with the help of the software program VOSviewer. The study concludes by presenting authors some recommendations based on the analyzed studies.

Keywords: simulation, VOSviewer, container logistics

1. Introduction

The rise in globalization has increased international trade, resulting in a massive surge in logistics activities. Maritime transportation is the preferred mode of transportation due to being simultaneously inexpensive and able to handle large quantities of cargo. The increase in the load on maritime transportation has triggered port operators to seek optimization solutions for container transportation. When considering this, the speed of port processes is seen to be critical for logistics processes to be maintained without interruption. Port management is a complex system where strategic decisions must be made quickly. Management should examine each stage and find the optimal solution in order to keep its profits high, such as improving port services and ensuring sustainability, which assist ports in gaining an advantage over their competitors (Mollaoglu et al., 2023a). The literature on port logistics shows many methods to have been developed to solve the problems experienced in the field of port logistics and container transportation. Articles frequently make use of simulation programs for analyzing these methods. Yun and Choi (1999) mentioned the problems of increasing container trade in Korea. Establishing these new container terminals has made examining flow control and planning to ensure the optimal use of cranes important, and the application of simulation systems will facilitate these efforts (p. 222). When considering the purposes of simulation systems, evaluating alternative ship loading and unloading operations in terms of time and cost, evaluating various storage policies, and evaluating various resource allocation procedures stand out in regard to the management processes of container ports (Bielli et al., 2006, p. 1732). Derse and Göçmen (2018) developed a model for determining the efficient and effective movement of containers in a terminal. The proposed model was analyzed with the help of the Arena computer program. Benantar et al. (2020) presented a set of road and rail transport routes, aiming for the shortest route and lowest service cost. The problem was analyzed with the help of the simulation software AnyLogic. Wang et al. (2023) developed a model to estimate arrival time of export containers and to identify the factors affecting it. Their results showed the accuracy of the proposed model to be 72% (not high/limited). Literature review studies on container terminal simulation studies have been previously carried out. Angeloudis and Bell (2011) conducted a literature review on container terminal simulations and found the literature have classified models. Dragović et al. (2017) examined studies involving the application of simulation models in container ports between 1961-2015. The analyses in both studies were carried out without the assistance of any software

Corresponding Author: Bükra Doganer Duman **E-mail:** bukra.doganer@gmail.com

Submitted: 22.11.2023 • **Revision Requested:** 07.01.2024 • **Last Revision Received:** 24.04.2024 • **Accepted:** 25.04.2024



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

program. Meanwhile, the current study will utilize the program VOSviewer for its analysis. Other studies have not utilized any particular database, while this study has preferred using the Scopus database. The current study is more recent than other studies in terms of the examined period.

VOSviewer as a bibliometric analysis method provides visualization and easy examination of bibliometric analyses with the VOS mapping technique. Bibliometric analyses follow trends in studies conducted in a particular field and provide a collective analysis of studies. This study analyzes academic studies that have developed simulation methods to produce solutions for container logistics using the VOSviewer mapping technique. VOSviewer is more user-friendly visualization program and offers higher graphical quality than CiteSpace and Bibliometrix (Arruda et al., 2022; Markscheffel & Schröter, 2021). Very robust studies benefitting from the VOSviewer mapping technique are found in the field (see Mollaoglu et al., 2023b; Mollaoglu et al., 2024). The next part of the current study explains and details the methodology before analyzing the methodology results and presenting the conclusions.

2. Methodology

Scopus contains a broader range of content than the Web of Science (WoS) database (Pranckutė, 2021), and the Scopus database has been preferred over the WoS database in bibliometric analyses (Zupic & Čater, 2015). For the current analysis, the article has obtained 515 studies by first searching the Scopus database using the keywords “logistics”, “simulation”, and “container”. The keyword “supply chain” has also been included to further narrow the scope of the search. The results of the search were then limited to English as a language, and in this way, the current research has obtained 299 studies that could be examined in depth. Regarding these 299 studies, Figure 1 shows the annual number of studies by journal. Figure 2 shows the annual number of studies on container logistics simulations from past to present, while Figure 3 presents the list of most published authors in this field.

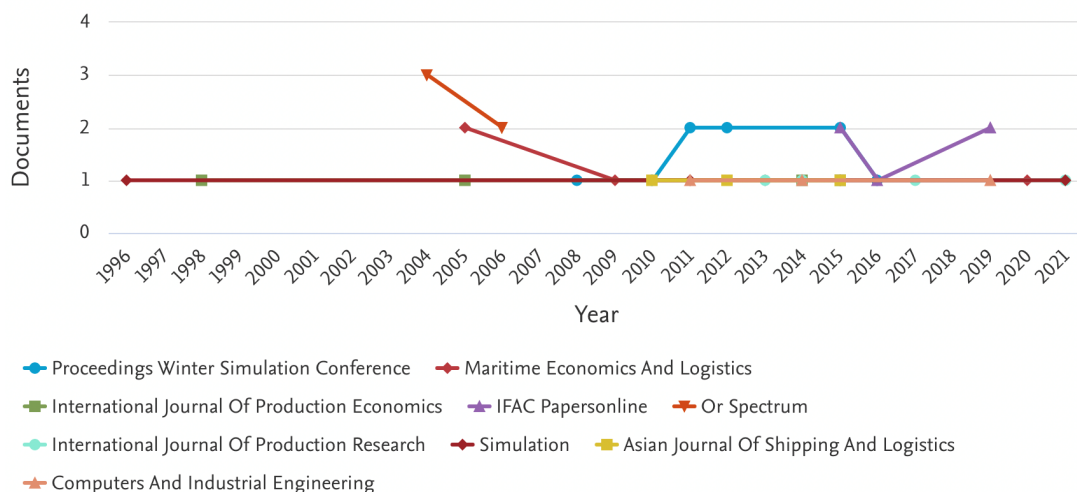


Figure 1. Annual number of studies on container logistics simulations by journal.

Figure 1 indicates the annual number of studies on container logistics simulation by journal. Accordingly, most studies on the subject were published in the *Proceedings of the Winter Simulation Conference* (WSC) between 2011-2015. Studies published in *IFAC-PapersOnLine* gradually increased as of 2016 and reached the same number as *Proceedings of the WSC* in 2019.

As shown in Figure 2, the most studies on container logistics simulations were carried out in 2007, 2009, and 2015. In recent years, the number of studies on the subject has decreased, with the number of studies conducted in 2021 being quite low compared to recent years. This provides an opportunity for researchers to conduct research using simulation models that have started being used in recent years in the field of container logistics.

Figure 3 shows the authors who’ve published the most studies on the subject. Because these authors also publish studies that may be fundamental to the subject, Figure 3 can facilitate future researchers’ ability to find reference works.

In the next step, the study analyzes the Scopus data for these 299 studies using VOSviewer. Among the 6,406 references cited in the co-citation analysis, the minimum number of citations was limited to five in order to facilitate the naming and interpretation of the clusters, with 51 studies being obtained as a result. When examining the 299 studies through an author-keyword analysis for guiding researchers and their future studies, the analysis obtained 738 keywords. When limiting the minimum number of keyword repetitions to three keywords to facilitate the the keyword interpretation, 52 keywords were found. The study determined the 10 most and 10 least used keywords from among these 52.

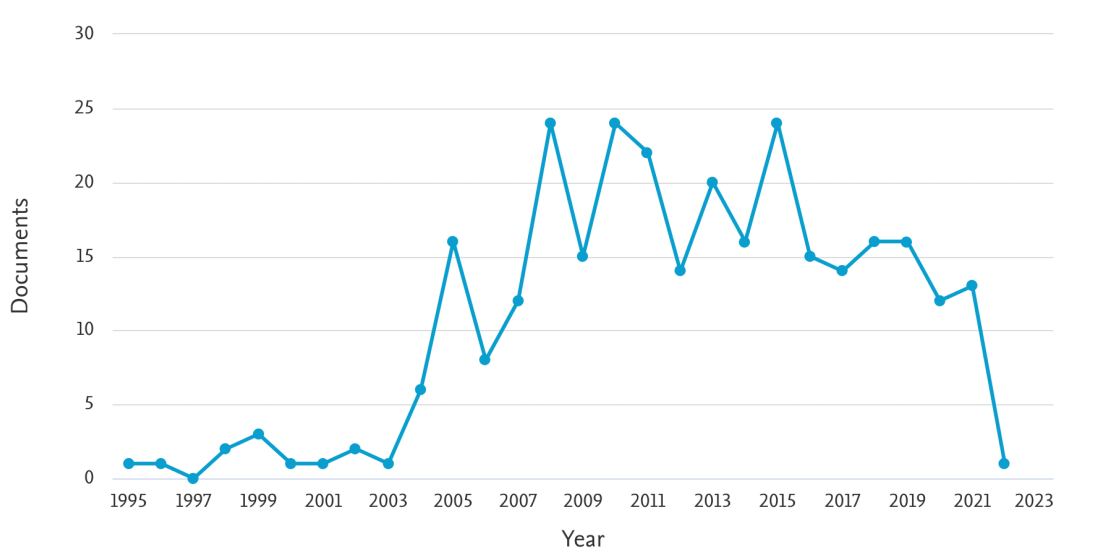


Figure 2. Annual number of studies on container logistics simulations.

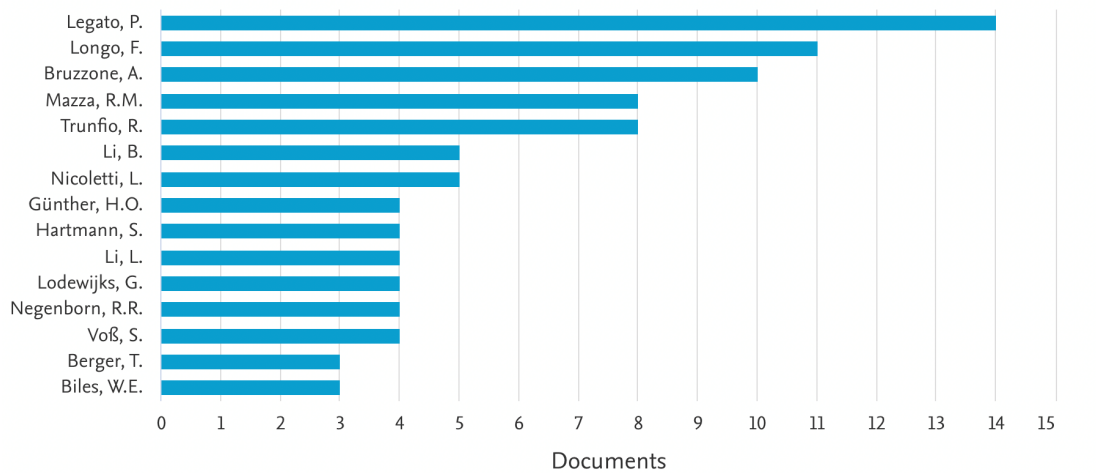


Figure 3. Most published authors of studies on container logistics simulations.

Lastly, the study has interpreted the results of the two analyses. In order to interpret and name each cluster that emerged from the analysis, the study accessed all the articles that had been retrieved from the Scopus database; however, no books were accessible. The study analyzes Clusters A, B, C, and D to interpret and name the cornerstones of container logistics simulation research using a co-citation analysis (See Section 3.1). Clustering was not applied in the author-keyword analysis. Among the 52 keywords that emerged from the analysis, article mentions the 10 most and 10 least popular keywords (See Section 3.2).

Co-citation analysis aims to measure the relationship between citing and cited studies. Both types of documents should be cited as a pair over many reference works to obtain a robust measure of co-citation. Once the studies to be used as references are published, the co-citation frequency of the two documents changes over time (Baker, 1990, p. 7). Two journals that cite the same work is called bibliographic coupling. The number of identical and different studies cited by two journals reflects the strength of bibliographic coupling (Small & Koenig, 1977, p. 278). The current research has considered the studies of Van Eck and Waltman (2010) and Boyack and Klavans (2010) for the co-citation analysis and bibliographic coupling analysis. This study also performs an author-keyword analysis so that future researchers can explore and head toward less studied areas in the literature. Al-Emran et al. (2020) showed the gaps in the field. In addition, no literature review has been found on container logistics simulation research.

The study uses VOSviewer to create and visualize bibliometric networks. Authors can use this program to reveal the co-citation, bibliographic coupling, author-keyword, or co-authorship relations of published studies.

3. Findings

3.1. The Cornerstones of Container Logistics Simulation Research

Figure 4 shows the bibliographic network and cornerstones of container logistics simulation research based on the co-citation analysis. This articles' examination of all studies has obtained a total of 6,406 cited references. To facilitate the naming and interpretation of clusters, the study has limited the minimum number of citations to five and obtained 51 studies as a result. This was done to facilitate focusing on the important studies during the research. The larger clusters in Figure 4 indicate studies being cited more than those in smaller clusters. Studies relatively close to each other are more likely to be co-cited than studies far apart.

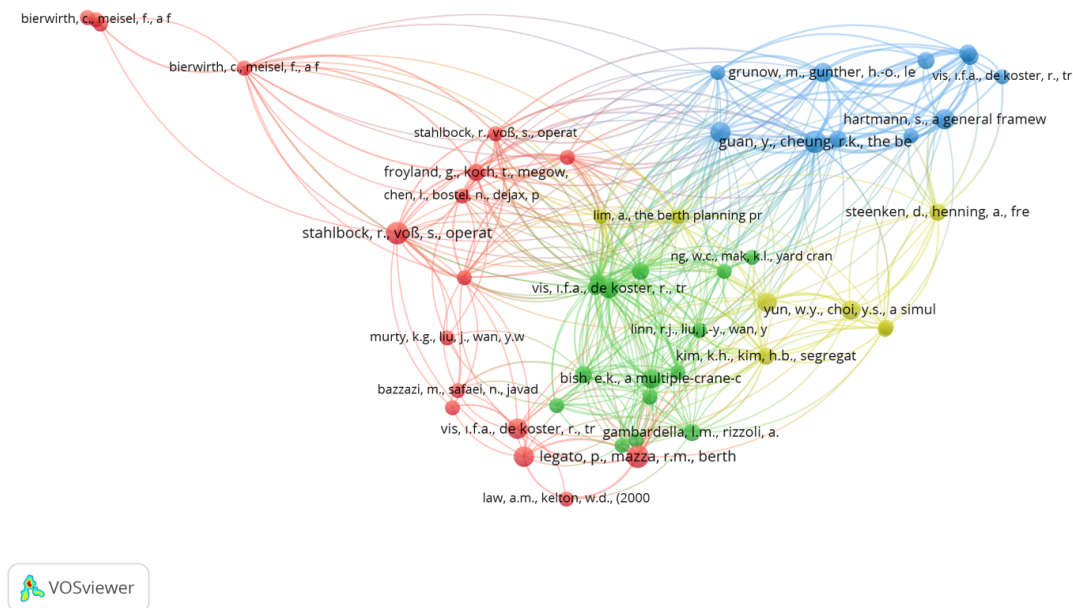


Figure 4. Bibliographic network based on co-citation analysis on container logistics simulation.

For the four clusters seen in Figure 4, red represents Cluster A, green represents Cluster B, blue represents Cluster C, and yellow represents Cluster D. The clusters are named as follows: Cluster A is crane scheduling, Cluster B is container operations processes, Cluster C is vehicle problems, and Cluster is port operations. Figure 4 shows that Cluster B is in the middle of the visual map in relation to the other clusters. Clusters A and D are also related to all the other clusters, while Cluster C is only related to Clusters B and D more than Cluster A.

3.2. Cluster Analyses

3.2.1. Cluster A: Crane Scheduling

Cluster A contains 17 articles, of which only 15 were subjected to a detailed analysis because one study appeared twice in the cluster, and the content of another study could not be accessed. Based on the articles in Cluster A, four main research areas were determined: overview, container loading and unloading, ship berthing and storage processes, and terminal productivity. The authors of these articles are seen to have focused more on container loading and unloading and ship berthing and storage.

With regard to the first research area (i.e., overview), Bierwirth and Meisel (2015) aimed to examine recent studies on berth allocation, quay crane assignment, and quay crane scheduling problems encountered in port container terminals. Stahlbock and Voss (2008) addressed studies examining the methods applied in sea container terminal operations. Steenken et al. (2004) defined and classified container terminals' main logistics processes and operations. Vis and De Koster (2003) examined the literature on various decision problems experienced in container terminals and made a classification.

With regard to the second research area (i.e., container loading and unloading), Bierwirth and Meisel (2009) proposed a heuristic solution to the scheduling problem of quay cranes used to load and unload containers in port terminals. When comparing the proposed heuristic method with the other algorithms in the literature, the proposed heuristic method produced much more effective solutions in a much shorter working time. Legato et al. (2010) proposed a simulation model on a container ship's unloading and

loading process with multiple quay cranes and shuttle vehicles moving back and forth from the quay to the yard and back. The simulation model was concluded to encourage research efforts toward optimizing logistics activities from the terminal yard. Zeng and Yang (2009) developed a method for scheduling container loading and unloading operations. They used ARENA 7.0 and Microsoft Visual Basic 6.0 to create the simulation model. Based on their numerical tests, they demonstrated the proposed method to be able to provide an efficient solution to the problem.

Froyland et al. (2008) presented an algorithm to solve the problem of operating a site serviced by more than one semi-automatic rail-mounted gantry crane (RMG). The algorithm provided an efficiency increase of more than 8% for site operations using an RMG. Kemme (2012) offered a simulation model for the problem of the effects of crane systems and yard block layouts on the strategic decisions of RMG storage areas in seaport container terminals. Kemme created the simulation model using Tecnomatix Plant Simulation v8.2, and the proposed simulation model showed better performance than other models. Ng (2005) proposed a solution to the problem of scheduling more than one yard crane to minimize total wait times. The proposed solution decreased the total wait time by 7.3% and increased performance.

For the third research area (i.e., ship berthing and storage processes), Legato and Mazza (2001) presented a queuing network simulation model for ships' arrival, berthing, and departure processes in a container terminal. They used the Visual SLAM software language for the simulation model. The proposed model was shown to be an effective method for decision-making in the container terminal, and the tests proved to be satisfactory. Murty et al. (2005) examined daily operation decisions for optimizing ships' berthing times, the resources required for handling the workload, the waiting times for customer trucks, and congestion on the roads and at the storage blocks and docks inside the terminal, as well as how to use the storage space most efficiently. Bazazi et al. (2009) aimed to present an efficient genetic algorithm (GA) as a solution to the storage space allocation problem (SSAP), which is described as the temporary allocation of incoming and outgoing containers to storage blocks to optimize container storage times. Their results showed a relative gap of approximately 5% between the GA and the optimum solution in the context of the objective function. Petering and Murthy's (2009) simulation study aimed to show how a terminal's long-term average quay crane rate depends on the length of the storage blocks in the terminal's container yard and the system for using shipyard cranes among the blocks in the zone. They created their simulation model using Microsoft Visual C++ 6.0. The results indicated the highest quay crane work rate to have been achieved by a block length of 56-72 20-ft slots, as well as a higher quay crane work rate to be achieved by a yard crane deployment system restricting crane movement compared to a system allowing greater yard crane mobility.

With regard to the fourth research area (i.e., terminal productivity), Chen et al. (2007) developed a model to improve coordination among container handling equipment in marine terminals in order to increase terminal productivity. The model was shown to perform better in terms of solution quality and efficiency when the problem size was increased.

3.2.2. Cluster B: Container Operations Processes

Cluster B contains 15 articles. Based on the articles included in Cluster B, four main research areas have been determined: overview, container operations, cost reduction, and port operations. The authors in this cluster are seen to have focused more on container and port operations.

For the first research area (i.e., overview), Gambardella et al. (1998) aimed to show how they could use operations research techniques to create resource allocation plans that can support terminal managers regarding management strategy. They examined the Contship La Spezia container terminal in Italy as a case. Vis and De Koster (2003) examined the literature on various decision problems experienced in container terminals and made a classification.

For the second research area (i.e., container operations), Bish (2003) dealt with the multi-crane constrained vehicle scheduling and location (MVSL) problem. Bish proposed a method for determining a storage location for each unloaded container, for conducting the loading and unloading operations to minimize the time, and for dispatching containers and vehicles. The proposed method yielded quite effective results for 500 or more containers. Cheung and Chen (1998) proposed a stochastic model that aims to help ship operators allocate their empty containers effectively, thereby reducing leasing costs and inventory levels in ports. The proposed stochastic model yielded better results than other deterministic models.

Crainic et al. (1993) aimed to propose a model to dispatch empty containers of appropriate types based on customer demands and to reposition other containers to storage depots or ports in line with future demands. Their results showed the proposed model to be effective. Kim and Park (2003) proposed a method aimed at attaining maximum productivity in loading operations by pre-allocating storage areas for incoming containers. Their proposed method was seen to use less space than other methods. Kim and Kim (1999) presented an algorithm that aims to minimize the container handling time of a straddle carrier (SC) by optimally determining the order in which the SC will receive its containers and the number of containers it will receive in each go. Their results showed the algorithm to yield productive results. Kim and Kim (2003) also proposed another algorithm aimed

at minimizing total container handling time by determining the route of a single quay crane and yard-side equipment (straddle carriers or transfer cranes). Their proposed algorithm also yielded good results.

For the third research area (i.e., cost reduction), Kim et al. (2003) aimed to test various sequencing methods to ensure that vehicles are optimally sequenced to reduce driver complaints during transfer operations in container yards and to reduce service delay costs. The tested methods outperformed other methods with regard to each purpose. Peterkofsky and Daganzo (1990) aimed to present a method minimizing the delay costs encountered in ports' loading and unloading operations. Their proposed method yielded satisfactory results for up to six ships. With regard to the fourth research area (i.e., port operations), Bruzzone and Signorile (1998) presented a new approach to simulate a congested port terminal, incorporating both ship planning and shipyard layout into the traditional operational model. They created the simulation model using the SIMPACK application developed in C language and ARENA software. Their results gave the best results for a combination of ship planning and layout. Linn et al. (2003) proposed a model for the optimal distribution of yard crane deployment. The model was tested through operational data from a large container yard in Hong Kong, and the analysis demonstrated the model's capacity and potential to minimize crane workload. Ng and Mak (2005) proposed an algorithm for the yard crane scheduling problem to minimize job wait times. Their results showed the algorithm to be able to find the optimal sequence for most problems with realistic dimensions. Park and Kim (2005) presented a method for scheduling berth and quay cranes in port container terminals. The proposed method was the most optimal solution for the quay scheduling problem. Vis et al. (2001) proposed a flow algorithm to determine the number of automated guided vehicles (AGVs) required for semi-automatic container terminals. Their proposed algorithm yielded good results as a result of being a robust time algorithm.

3.2.3. Cluster C: Vehicle Problem

Cluster C contains 11 articles. Based on the articles in Cluster C, three main research areas have been determined: overview, use of AGVs, and port operations. The authors in this cluster are seen to have focused more on the use of AGVs and port operations.

For the first research area (i.e., overview), Steenken et al. (2004) defined and classified the main logistics processes and operations in container terminals. Vis and De Koster (2003) examined the literature on various decision problems experienced in container terminals and made a classification.

Regarding the second research area (i.e., the use of AGVs), Grunow et al. (2004) aimed to develop their proposed approach on AGV dispatching in port container terminals. Their numerical results showed that using AGVs in multi-load mode instead of single load mode would reduce delays and that using AGVs in container ports would increase overall performance. Hartmann (2004a) aimed to present a general framework for the scheduling problems of straddle carriers, AGVs, stacker cranes, and reefer container handling workers in port logistics. The results showed the proposed model to lead to better results than previous models. Hwang and Kim (1998) proposed a new AGV dispatching algorithm that yielded better results compared to previous data. Yang et al. (2004) aimed to present an algorithm to analyze how an increase in the use of automatic lift vehicles (ALVs) instead of AGVs affects automatic container terminals (ACTs). They developed the simulation model using Visual BASIC and showed ALVs to be superior to AGVs as they reduce wait times in buffer zones. Vis and Harika (2004) aimed to examine the effect of using AGVs and ALVs on ship unloading times through a simulation model. They created the simulation model in ARENA 3.5 and showed that AGVs need to be used 38% more than ALVs. ALVs were also determined to be more affordable than AGVs.

With regard to the third research area (i.e., port operations), De Koster et al. (2004) aimed to define a new rule to evaluate the performance of real-time vehicle dispatching rules using three companies' simulation models. Their results showed the proposed rule to perform well. Guan and Cheung (2004) presented a model that aims to minimize the total weighted flow time, which allows more than one ship to be moored per berth and considers ship arrival times. Their results showed the model to be quite effective. Hartmann (2004b) aimed to use the algorithm proposed in the study to summarize which parameters are important for generating realistic and practical scenarios in ports and for calculating scenarios based on these parameters. The proposed algorithm was tested in the HHLA Container Terminal in Altenwerder, Hamburg, Germany, and was very suitable for projects in practice. Kim et al. (2004) developed an algorithm for the load-sequencing problem encountered in ports. Their results showed the proposed algorithm to provide better results than other algorithms.

3.2.4. Cluster D: Port Operations

Cluster D contains eight articles. Based on the articles in Cluster D, three main research areas were determined: cost reduction, port planning, and berth planning. The authors in this cluster are seen to have focused more on automated guided port planning and berth planning.

For the first research area (i.e., cost reduction), Daganzo (1989) aimed to present a solution method to the crane scheduling

problem concerning ship turnaround while minimizing total delay costs. The results showed minimized crane idle times, maximized berth throughput, and reduced queuing delays. Peterkofsky and Daganzo (1990) aimed to present a method that minimizes the delay costs encountered in ports' loading and unloading operations. Their proposed method yielded satisfactory results for up to six ships.

Regarding the second research area (i.e., port planning), Kim and Kim (1999) aimed for their proposed model to optimally allocate storage space for export containers, reduce the amount of reprocessing, and increase customer satisfaction. Their model yielded positive results. Legato et al. (2001) presented a queuing network simulation model for ships' arrival, berthing, and departure processes in a container terminal. The proposed model was effective for decision-making in the container terminal, and the tests proved satisfactory. Steenken et al. (1993) aimed to simulate vehicle routing to minimize the roads vehicles use in the port. The study found that simulation with accurate data showed a total savings of 20%-35% in no-load distances, corresponding to approximately 20,000 km a year. Yun and Choi (1999) aimed to develop a simulation model to analyze the container terminal system (CTS) located in Pusan, Korea, which involves container handling, container transfer between equipment, and equipment control. They developed the simulation model using the SiMPLE++ language. Their results indicated the simulation model to be effective and efficient.

As for the last research area (i.e., berth planning), Lim (1998) proposed a new method for the berth planning problem and showed the method to perform well on past test data. Park and Kim (2003) presented a method for scheduling berth and quay cranes in port container terminals. Their proposed method was the most optimal solution for the quay scheduling problem.

3.3. Knowledge Gap

To identify gaps in the literature and to light the way for future researchers, this study has also carried out an author-keyword analysis over 299 studies, with Figure 5 having been formed based on this analysis. Upon examining all the studies, 738 keywords were obtained. To facilitate the process of interpreting the keywords, the minimum number of keyword repetitions was limited to three words, with 52 keywords being obtained as a result of this limitation. This makes identifying gaps that could be addressed in the future easier. In Figure 5, larger clusters indicate the keywords that have been preferred more compared to the smaller clusters. The analysis shows the 10 most repeated keywords to be: simulation, logistics, container terminals, optimization, containers, modeling, ports, container logistics, genetic algorithms, and planning.

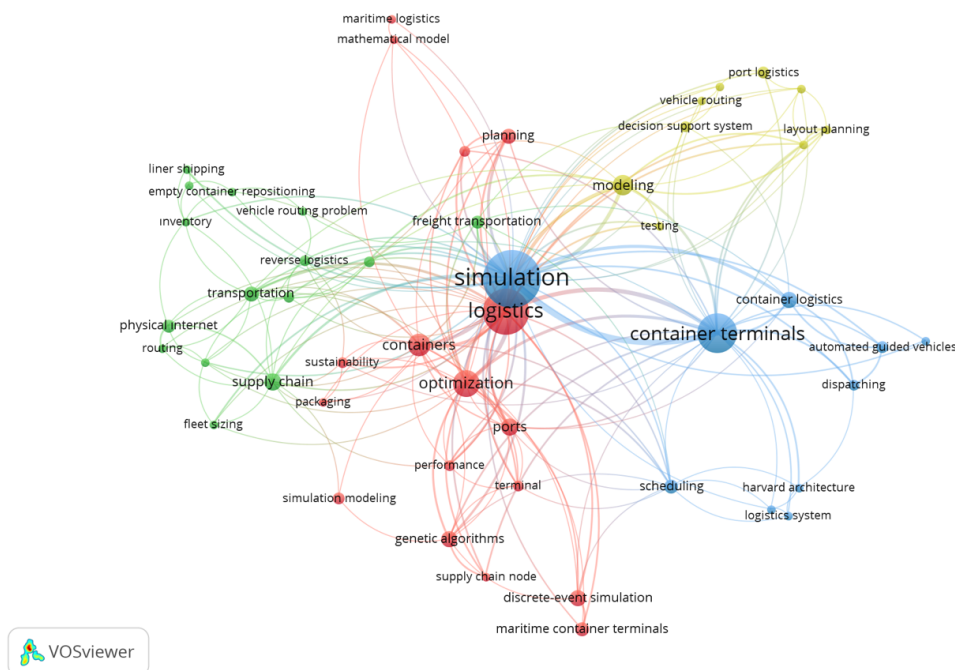


Figure 5. The authors' most frequently mentioned keywords in the context of container logistics simulation research.

4. Conclusion

The previous sections have presented a new systematic research review of 299 studies for container logistics simulation research. Initially, the study determined the bibliographic network and the cornerstones of container logistics simulation research based on a co-citation analysis. To facilitate the naming and interpretation of the clusters, the minimum number of citations was limited to five. The cornerstones were obtained from the 6,406 cited references. As a result, 51 studies were included in the review. The clusters have the following names: Cluster A is crane scheduling, Cluster B is container operations processes, Cluster C is vehicle problem, and Cluster D is port operations. As shown in Figure 4, Cluster B is in the middle of the visual map and is related to the other clusters. Clusters A and D are also related to all the other clusters, while Cluster C is related to Clusters B and D much more than to Cluster A.

Secondly, an author-keyword analysis was carried out, through which 738 keywords were obtained from 299 studies to determine the gaps and future areas of study. To facilitate the process of interpreting the keywords, the minimum number of keyword repetitions was limited to three words, with 52 keywords being obtained as a result. The analysis showed the 10 most repeated keywords to be simulation, logistics, container terminals, optimization, containers, modeling, ports, container logistics, genetic algorithms, and planning. The 10 least popular keywords are simulation analyses, maritime transport, simulation modeling, vehicle routing problems, logistics management, vehicle routing, AGV dispatching, container loading, logistics systems, and mathematical models. The analysis showed the number of studies focusing on simulating container logistics processes to have decreased recently. More research is needed to optimize and improve container logistics processes, as this will keep with more problems from actively increasing with each passing day. This study has scrutinized and revealed the gaps in the field for future researchers.

Discussing all the theoretical concepts put forward by the 299 studies is impossible. Therefore, this review is limited to identifying the theoretical cornerstones and the main discussion trends in the field of container logistics simulations. Furthermore, the study is limited to only the Scopus database. Apart from Scopus, future studies can also use the Google Scholar database.

4.1. Future Research

This study analyzed 51 studies in depth. As a result of these analyses, the study can make the following recommendations to authors who will work in this field in the future. As a result of the heavy materials containers carry and tower cranes working simultaneously, load imbalances can occur on a ship. Therefore, future studies can add stability constraints to their solution models. Crane speed, crane placement location, and cargo storage strategies in container ports can also be analyzed in detail. The container priority constraint can also be added to the solution model of the multiple crane scheduling problem.

In addition to these recommendations, artificial intelligence, machine learning, robotization, driverless vehicles (next generation AGV), blockchain, digital twin, telecommunications (5G), Internet of Things (IoT), the cloud, augmented reality (AR), virtual reality (VR), and big data technologies are developing daily. Future studies can also investigate the impact these technological developments have on efficiency, energy consumption, improving storage areas, reducing dock congestion, reducing workload, loading and unloading times, ship berthing times, dock crane programming, queuing time, and delays in container ports.

4.2. Limitations

This study has preferred Scopus as the database. Future studies could add the Web of Science (WoS), Google Scholar, and Dimensions databases. Also, VOSviewer software programs can be preferred as external programs. The co-citation and author-keyword analyses were made with the help of the VOSviewer visual mapping program. Future studies can perform a bibliographic coupling analysis. Not many studies are found in this field, and thus further studies should be conducted in the future.

Peer Review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Conception/Design of Study- M.G.; Data Acquisition- B.D.D.; Data Analysis/Interpretation- B.D.D., M.G.; Drafting Manuscript- M.G., B.D.D.; Critical Revision of Manuscript- M.G., B.D.D.; Final Approval and Accountability- M.G., B.D.D. Conflict of Interest: Authors declared no conflict of interest.

Financial Disclosure: Authors declared no financial support.

ORCID IDs of the authors

Mehmet Gürtürk 0000-0002-8417-1274
 Bükra Doganer Duman 0000-0002-9770-9838

REFERENCES

- Al-Emran, M., Al-Marouf, R., Al-Sharafi, M. A., & Arpacı, I. (2020). What impacts learning with wearables? An integrated theoretical model. *Interactive learning environments*, 1-21.
- Angeloudis, P., & Bell, M. G. (2011). A review of container terminal simulation models. *Maritime Policy & Management*, 38(5), 523-540.
- Arruda, H., Silva, E. R., Lessa, M., Proença Jr, D., & Bartholo, R. (2022). VOSviewer and bibliometrix. *Journal of the Medical Library Association: JMLA*, 110(3), 392.
- Baker, D. R. (1990). Citation analysis: A methodological review. In *Social Work Research and Abstracts* (Vol. 26, No. 3, pp. 3-10). Oxford University Press.
- Bazzazi, M., Safaei, N., & Javadian, N. (2009). A genetic algorithm to solve the storage space allocation problem in a container terminal. *Computers & Industrial Engineering*, 56(1), 44-52.
- Benantar, A., Abourraja, M. N., Boukachour, J., Boudebous, D., & Duvallet, C. (2020). On the integration of container availability constraints into daily drayage operations arising in France: Modelling and optimization. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 140, 101969.
- Bielli, M., Boulmakoul, A., & Rida, M. (2006). Object oriented model for container terminal distributed simulation. *European Journal of Operational Research*, 175(3), 1731-1751.
- Bierwirth, C., & Meisel, F. (2009). A fast heuristic for quay crane scheduling with interference constraints. *Journal of Scheduling*, 12(4), 345-360.
- Bierwirth, C., & Meisel, F. (2015). A follow-up survey of berth allocation and quay crane scheduling problems in container terminals. *European Journal of Operational Research*, 244(3), 675-689.
- Bish, E. K. (2003). A multiple-crane-constrained scheduling problem in a container terminal. *European Journal of Operational Research*, 144(1), 83-107.
- Boyack, K. W., & Klavans, R. (2010). Co-citation analysis, bibliographic coupling, and direct citation: Which citation approach represents the research front most accurately?. *Journal of the American Society for information Science and Technology*, 61(12), 2389-2404.
- Bruzzone, A., & Signorile, R. (1998). Simulation and genetic algorithms for ship planning and shipyard layout. *Simulation*, 71(2), 74-83.
- Chen, L., Bostel, N., Dejax, P., Cai, J., & Xi, L. (2007). A tabu search algorithm for the integrated scheduling problem of container handling systems in a maritime terminal. *European Journal of Operational Research*, 181(1), 40-58.
- Cheung, R. K., & Chen, C. Y. (1998). A two-stage stochastic network model and solution methods for the dynamic empty container allocation problem. *Transportation science*, 32(2), 142-162.
- Crainic, T. G., Gendreau, M., & Dejax, P. (1993). Dynamic and stochastic models for the allocation of empty containers. *Operations research*, 41(1), 102-126.
- Daganzo, C. F. (1989). The crane scheduling problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 23(3), 159-175.
- Dragović, B., Tzannatos, E., & Park, N. K. (2017). Simulation modelling in ports and container terminals: literature overview and analysis by research field, application area and tool. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 29, 4-34.
- Derse, O., & Göçmen, E. (2018). A Simulation Modelling Approach for Analysing The Transportation of Containers in A Container Terminal System. *International Scientific and Vocational Studies Journal*, 2(1), 19-28.
- Froyland, G., Koch, T., Megow, N., Duane, E., & Wren, H. (2008). Optimizing the landside operation of a container terminal. *OR spectrum*, 30(1), 53-75.
- Gambardella, L. M., Rizzoli, A. E., & Zaffalon, M. (1998). Simulation and planning of an intermodal container terminal. *Simulation*, 71(2), 107-116.
- Grunow, M., Günther, H. O., & Lehmann, M. (2005). Dispatching multi-load AGVs in highly automated seaport container terminals. In *Container Terminals and Automated Transport Systems* (pp. 231-255). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Guan, Y., & Cheung, R. K. (2004). The berth allocation problem: models and solution methods. *Or Spectrum*, 26(1), 75-92.
- Hartmann, S. (2004a). A general framework for scheduling equipment and manpower at container terminals. *OR Spectrum*, 26(1), 51-74.
- Hartmann, S. (2004b). Generating scenarios for simulation and optimization of container terminal logistics. *Or Spectrum*, 26(2), 171-192.
- Hwang, H., & Kim, S. H. (1998). Development of dispatching rules for automated guided vehicle systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 17(2), 137-143.
- Kemme, N. (2012). Effects of storage block layout and automated yard crane systems on the performance of seaport container terminals. *OR spectrum*, 34(3), 563-591.
- Kim, K. H., & Kim, H. B. (1999). Segregating space allocation models for container inventories in port container terminals. *International Journal of Production Economics*, 59(1-3), 415-423.
- Kim, K. H., & Park, K. T. (2003). A note on a dynamic space-allocation method for outbound containers. *European Journal of Operational Research*, 148(1), 92-101.

- Kim, K. H., Kang, J. S., & Ryu, K. R. (2004). A beam search algorithm for the load sequencing of outbound containers in port container terminals. *OR spectrum*, 26(1), 93-116.
- Kim, K. H., Lee, K. M., & Hwang, H. (2003). Sequencing delivery and receiving operations for yard cranes in port container terminals. *International Journal of Production Economics*, 84(3), 283-292.
- Kim, K. Y., & Kim, K. H. (1999). A routing algorithm for a single straddle carrier to load export containers onto a containership. *International Journal of Production Economics*, 59(1-3), 425-433.
- Kim, K. Y., & Kim, K. H. (2003). Heuristic algorithms for routing yard-side equipment for minimizing loading times in container terminals. *Naval Research Logistics (NRL)*, 50(5), 498-514.
- Law, A. M., & Kelton, W. D. (2000). *Simulation Modelling and Analysis*.
- Le-Anh, T., & van der Meer, J. R. (2004). Testing and classifying vehicle dispatching rules in three real-world settings. *Journal of Operations Management*, 22(4), 369-386.
- Legato, P., & Mazza, R. M. (2001). Berth planning and resources optimisation at a container terminal via discrete event simulation. *European Journal of Operational Research*, 133(3), 537-547.
- Legato, P., Mazza, R. M., & Trunfio, R. (2010). Simulation-based optimization for discharge/loading operations at a maritime container terminal. *OR spectrum*, 32(3), 543-567.
- Lim, A. (1998). The berth planning problem. *Operations research letters*, 22(2-3), 105-110.
- Linn, R., Liu, J. Y., Wan, Y. W., Zhang, C., & Murty, K. G. (2003). Rubber tired gantry crane deployment for container yard operation. *Computers & Industrial Engineering*, 45(3), 429-442.
- Markscheffel, B., & Schröter, F. (2021). Comparison of two science mapping tools based on software technical evaluation and bibliometric case studies. *COLLNET Journal of Scientometrics and Information Management*, 15(2), 365-396.
- Mollaoglu, M., Gurturk, M., Celik, E., & Gul, M. (2023a). Interval Type-2 Trapezoidal Fuzzy AHP: Evaluation of Sustainable Port Service Quality Factors. In *Analytic Hierarchy Process with Fuzzy Sets Extensions: Applications and Discussions* (pp. 27-45). Cham: Springer International Publishing.
- Mollaoglu, M., Altay, B. C., & Balin, A. (2023b). Bibliometric Review of Route Optimization in Maritime Transportation: Environmental Sustainability and Operational Efficiency. *Transportation Research Record*, 03611981221150922.
- Mollaoglu, M., Yazar Okur, I. G., Gurturk, M., & Doganer Duman, B. (2024). Review on Sustainable Development Goals in maritime transportation: current research trends, applications, and future research opportunities. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-18.
- Mongeon, P., & Paul-Hus, A. (2016). The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. *Scientometrics*, 106, 213-228.
- Murty, K. G., Liu, J., Wan, Y. W., & Linn, R. (2005). A decision support system for operations in a container terminal. *Decision support systems*, 39(3), 309-332.
- Ng, W. C. (2005). Crane scheduling in container yards with inter-crane interference. *European Journal of operational research*, 164(1), 64-78.
- Ng, W. C., & Mak, K. L. (2005). Yard crane scheduling in port container terminals. *Applied mathematical modelling*, 29(3), 263-276.
- Park, Y. M., & Kim, K. H. (2005). A scheduling method for berth and quay cranes. In *Container terminals and automated transport systems* (pp. 159-181). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Petering, M. E., & Murty, K. G. (2009). Effect of block length and yard crane deployment systems on overall performance at a seaport container transshipment terminal. *Computers & Operations Research*, 36(5), 1711-1725.
- Peterkofsky, R. I., & Daganzo, C. F. (1990). A branch and bound solution method for the crane scheduling problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 24(3), 159-172.
- Pranckutė, R. (2021). Web of Science (WoS) and Scopus: The titans of bibliographic information in today's academic world. *Publications*, 9(1), 12.
- Small, H. (1973). Co-citation in the scientific literature: A new measure of the relationship between two documents. *Journal of the American Society for information Science*, 24(4), 265-269.
- Stahlbock, R., & Voß, S. (2008). Operations research at container terminals: a literature update. *OR spectrum*, 30(1), 1-52.
- Steenken, D., Henning, A., Freigang, S., & Voß, S. (1993). Routing of straddle carriers at a container terminal with the special aspect of internal moves. *Operations-Research-Spektrum*, 15(3), 167-172.
- Steenken, D., Voß, S., & Stahlbock, R. (2004). Container terminal operation and operations research-a classification and literature review. *OR spectrum*, 26(1), 3-49.
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *scientometrics*, 84(2), 523-538.
- Vis, I. F., & De Koster, R. (2003). Transshipment of containers at a container terminal: An overview. *European journal of operational research*, 147(1), 1-16.
- Vis, I. F., & Harika, I. (2004). Comparison of vehicle types at an automated container terminal. *OR Spectrum*, 26(1), 117-143.
- Vis, I. F., De Koster, R., Roodbergen, K. J., & Peeters, L. W. (2001). Determination of the number of automated guided vehicles required at a semi-automated container terminal. *Journal of the Operational research Society*, 52(4), 409-417.
- Wang, R., Li, J., & Bai, R. (2023). Prediction and Analysis of Container Terminal Logistics Arrival Time Based on Simulation Interactive Modeling: A Case Study of Ningbo Port. *Mathematics*, 11(15), 3271.
- Yang, C. H., Choi, Y. S., & Ha, T. Y. (2004). Simulation-based performance evaluation of transport vehicles at automated container terminals. *OR spectrum*, 26(2), 149-170.

- Yun, W. Y., & Choi, Y. S. (1999). A simulation model for container-terminal operation analysis using an object-oriented approach. *International Journal of Production Economics*, 59(1-3), 221-230.
- Zeng, Q., & Yang, Z. (2009). Integrating simulation and optimization to schedule loading operations in container terminals. *Computers & Operations Research*, 36(6), 1935-1944.
- Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric methods in management and organization.

How cite this article

Gürtürk, M., & Doganer Duman, B. (2024). A bibliometric analysis of simulation studies in the field of container logistics using VOSviewer. *Journal of Transportation and Logistics*, 9(1), 175-185. <https://doi.org/10.26650/JTL.2024.1394688>

AMAÇ VE KAPSAM

Ulaştırma ve Lojistik Dergisi (JTL), İstanbul Üniversitesi Ulaştırma ve Lojistik Fakültesi'nin çok disiplinli ve altı aylık resmi bir dergisidir. Derginin amacı, taşımacılık ve lojistik endüstrisinin küresel ekonomi için geri döndürülemez hale gelen sorunları hakkında yeni fikirleri yayınlamaktır. JTL, akademisyenlere ve saha uygulayıcılarına ulaştırma ve lojistik için yeni konuları tartışmak ve analiz etmek için dinamik bir platform sunmaktadır. JTL Dünya çapında iş yöneticileri ve araştırmacılar arasında lojistik ve tedarik zinciri yönetimi ile ilgili bilgi alışverişinin yanı sıra, lojistik ve tedarik zinciri yönetim sorunları, teknikleri hakkında yeni bir düşünce platformunda bağımsız, özgün ve özenli bir analiz olanağı sunar. Dergimize akademisyenler ve saha uygulayıcıları tarafından yapılan ulaştırma, lojistik ve tedarik zinciri yönetimi ve uygulamalarını geliştiren makaleler, araştırma çalışmaları, örnek olay analizleri ve inceleme makaleleri davet edilmektedir. Ulaştırma, lojistik veya tedarik zinciri yönetiminin herhangi bir alanındaki makaleler dergimize kabul edilmektedir. Dergimiz editörleri gelen çalışmalar ile ilgili eserlerin teorik ve yönetsel süreçlerin uygulamalar ile ne derecede örtüştüğünü test etmektedirler. Yayılanmak üzere gönderilen makalelerin tedarik zincirinde ulaştırma ve lojistik süreci perspektifinden uygulamalarının yapılması ve yorumlanması kabul için öncelikli tercih nedeni olmaktadır. Bu nedenle, dergimize işletmecilik, girişimcilik, yönetim, muhasebe, kurumsal yönetim müşteri ilişkileri yönetimi (CRM), pazarlama, insan kaynakları yönetimi, ekonomi, finans, işletme, imalat sanayi, lojistik, tedarik zinciri yönetimi, ulaşım endüstrileri, yeşil lojistik, ters lojistik, insani lojistik, sürdürülebilirlik, şehir lojistiği sektörleri ile ilgili çalışmalar kabul edilmektedir. Tüm makaleler, hakemler tarafından yayınlanmak üzere olarak incelenmektedir.

POLİTİKALAR

Yayın Politikası

Dergi yayın etiğinde en yüksek standartlara bağlıdır ve Committee on Publication Ethics (COPE), Directory of Open Access Journals (DOAJ), Open Access Scholarly Publishers Association (OASPA) ve World Association of Medical Editors (WAME) tarafından yayınlanan etik yayıncılık ilkelerini benimser; Principles of Transparency and Best Practice in Scholarly Publishing başlığı altında ifade edilen ilkeler için: <https://publicationethics.org/resources/guidelines-new/principles-transparency-and-best-practice-scholarlypublishing>

Gönderilen makaleler derginin amaç ve kapsamına uygun olmalıdır. Orijinal, yayınlanmamış ve başka bir dergide değerlendirme sürecinde olmayan, her bir yazar tarafından içeriği ve gönderimi onaylanmış yazılar değerlendirmeye kabul edilir.

Makale yayınlanmak üzere Dergiye gönderildikten sonra yazarlardan hiçbirinin ismi, tüm yazarların yazılı izni olmadan yazar listesinden silinemez ve yeni bir isim yazar olarak eklenemez ve yazar sırası değiştirilemez.

İntihal, duplikasyon, sahte yazarlık/inkar edilen yazarlık, araştırma/veri fabrikasyonu, makale dilimleme, dilimleyerek yayın, telif hakları ihlali ve çıkar çatışmasının gizlenmesi, etik dışı davranışlar olarak kabul edilir. Kabul edilen etik standartlara uygun olmayan tüm makaleler yayından çıkarılır. Buna yayından sonra tespit edilen olası kuraldışı, uygunsuzluklar içeren makaleler de dahildir.

İntihal

Ön kontrolden geçirilen makaleler, iThenticate yazılımı kullanılarak intihal için taranır. İntihal/kendi kendine intihal tespit edilirse yazarlar bilgilendirilir. Editörler, gerekli olması halinde makaleyi değerlendirme ya da üretim sürecinin çeşitli aşamalarında intihal kontrolüne tabi tutabilirler. Yüksek benzerlik oranları, bir makalenin kabul edilmeden önce ve hatta kabul edildikten sonra reddedilmesine neden olabilir. Makalenin türüne bağlı olarak, bunun oranının %15 veya %20'den az olması beklenir.

Çift Kör Hakemlik

İntihal kontrolünden sonra, uygun olan makaleler baş editör tarafından orijinallik, metodoloji, işlenen konunun önemi ve dergi kapsamı ile uyumluluğu açısından değerlendirilir. Editör, makalelerin adil bir şekilde çift taraflı kör hakemlikten geçmesini sağlar ve makale biçimsel esaslara uygun ise, gelen yazıyı yurtiçinden ve /veya yurtdışından en az iki hakemin değerlendirmesine sunar, hakemler gerek gördüğü takdirde yazıda istenen değişiklikler yazarlar tarafından yapıldıktan sonra yayınlanmasına onay verir.

Açık Erişim İlkesi

Dergi açık erişimlidir ve derginin tüm içeriği okura ya da okurun dahil olduğu kuruma ücretsiz olarak sunulur. Okurlar, ticari amaç haricinde, yayıncı ya da yazardan izin almadan dergi makalelerinin tam metnini okuyabilir, indirebilir, kopyalayabilir, arayabilir ve link sağlayabilir. Bu HYPERLINK “<https://www.budapestopenaccessinitiative.org/translations/turkish-translation>” BOAI açık erişim tanımıyla uyumludur.

Derginin açık erişimli makaleleri Creative Commons Atıf-GayrıTicari 4.0 Uluslararası (CC BY-NC 4.0)(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.tr>) olarak lisanslıdır.

İşleme Ücreti

Derginin tüm giderleri İstanbul Üniversitesi tarafından karşılanmaktadır. Dergide makale yayını ve makale süreçlerinin yürütülmesi ücrete tabi değildir. Dergiye gönderilen ya da yayın için kabul edilen makaleler için işleme ücreti ya da gönderim ücreti alınmaz.

Telif Hakkında

Yazarlar dergide yayınlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmaları Creative Commons Atıf-GayrıTicari 4.0 Uluslararası (CC BY-NC 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.tr> olarak lisanslıdır. CC BY-NC 4.0 lisansı, eserin ticari kullanım dışında her boyut ve formatta paylaşılmasına, kopyalanmasına, çoğaltılmasına ve orijinal esere uygun şekilde atıfta bulunmak kaydıyla yeniden düzenleme, dönüştürme ve eserin üzerine inşa etme dâhil adapte edilmesine izin verir.

ETİK

Yayın Etiği Beyanı

Journal of Transportation and Logistics, yayın etiğinde en yüksek standartlara bağlıdır ve Committee on Publication Ethics (COPE), Directory of Open Access Journals (DOAJ), Open Access Scholarly Publishers Association (OASPA) ve World Association of Medical Editors (WAME) tarafından yayınlanan etik yayıncılık ilkelerini benimser; Principles of Transparency and Best Practice in Scholarly Publishing başlığı altında ifade edilen ilkeler için: <https://publicationethics.org/resources/guidelines-new/principles-transparency-andbest-practice-scholarly-publishing>

Gönderilen tüm makaleler orijinal, yayınlanmamış ve başka bir dergide değerlendirme sürecinde olmamalıdır. Her bir makale editörlerden biri ve en az iki hakem tarafından çift kör değerlendirmeden geçirilir. İntihal, duplikasyon, sahte yazarlık/inkar edilen yazarlık, araştırma/veri fabrikasyonu, makale dilimleme, dilimleyerek yayın, telif hakları ihlali ve çıkar çatışmasının gizlenmesi, etik dışı davranışlar olarak kabul edilir.

Kabul edilen etik standartlara uygun olmayan tüm makaleler yayından çıkarılır. Buna yayından sonra tespit edilen olası kuraldışı, uygunsuzluklar içeren makaleler de dahildir.

Araştırma Etiği

Journal of Transportation and Logistics araştırma etiğinde en yüksek standartları gözetir ve aşağıda tanımlanan uluslararası araştırma etiği ilkelerini benimser. Makalelerin etik kurallara uygunluğu yazarların sorumluluğundadır

- Araştırmanın tasarlanması, tasarımın gözden geçirilmesi ve araştırmanın yürütülmesinde, bütünlük, kalite ve şeffaflık ilkeleri sağlanmalıdır.
- Araştırma ekibi ve katılımcılar, araştırmanın amacı, yöntemleri ve öngörülen olası kullanımları; araştırmaya katılımın gerektirdikleri ve varsa riskleri hakkında tam olarak bilgilendirilmelidir.
- Araştırma katılımcılarının sağladığı bilgilerin gizliliği ve yanıt verenlerin gizliliği sağlanmalıdır. Araştırma katılımcıların özerkliğini ve saygınlığını koruyacak şekilde tasarlanmalıdır.
- Araştırma katılımcıları gönüllü olarak araştırmada yer almalı, herhangi bir zorlama altında olmamalıdır.
- Katılımcıların zarar görmesinden kaçınılmalıdır. Araştırma, katılımcıları riske sokmayacak şekilde planlanmalıdır.

- Araştırma bağımsızlığıyla ilgili açık ve net olunmalı; çıkar çatışması varsa belirtilmelidir.
- Deneysel çalışmalarda, araştırmaya katılmaya karar veren katılımcıların yazılı bilgilendirilmiş onayı alınmalıdır. Çocukların ve vesayet altındakilerin veya tasdiklenmiş akıl hastalığı bulunanların yasal vasisinin onayı alınmalıdır.
- Çalışma herhangi bir kurum ya da kuruluşta gerçekleştirilecekse bu kurum ya da kuruluştan çalışma yapılacağına dair onay alınmalıdır.
- İnsan ögesi bulunan çalışmalarda, “yöntem” bölümünde katılımcılardan “bilgilendirilmiş onam” alındığının ve çalışmanın yapıldığı kurumdan etik kurul onayı alındığı belirtilmesi gerekir.

Yazarların Sorumluluğu

Makalelerin bilimsel ve etik kurallara uygunluğu yazarların sorumluluğundadır. Yazar makalenin orijinal olduğu, daha önce başka bir yerde yayınlanmadığı ve başka bir yerde, başka bir dilde yayınlanmak üzere değerlendirilmediği konusunda teminat sağlamalıdır. Uygulamadaki telif kanunları ve anlaşmaları gözetilmelidir. Telifle bağlı materyaller (örneğin tablolar, şekiller veya büyük alıntılar) gerekli izin ve teşekkürle kullanılmalıdır. Başka yazarların, katkıda bulunanların çalışmaları ya da yararlanılan kaynaklar uygun biçimde kullanılmalı ve referanslarda belirtilmelidir.

Gönderilen makalede tüm yazarların akademik ve bilimsel olarak doğrudan katkısı olmalıdır, bu bağlamda “yazar” yayınlanan bir araştırmanın kavramsallaştırılmasına ve dizaynına, verilerin elde edilmesine, analizine ya da yorumlanmasına belirgin katkı yapan, yazının yazılması ya da bunun içerik açısından eleştirel biçimde gözden geçirilmesinde görev yapan birisi olarak görülür. Yazar olabilmenin diğer koşulları ise, makaledeki çalışmayı planlamak veya icra etmek ve / veya revize etmektir. Fon sağlanması, veri toplanması ya da araştırma grubunun genel süpervizyonu tek başına yazarlık hakkı kazandırmaz. Yazar olarak gösterilen tüm bireyler sayılan tüm ölçütleri karşılamalıdır ve yukarıdaki ölçütleri karşılayan her birey yazar olarak gösterilebilir. Yazarların isim sıralaması ortak verilen bir karar olmalıdır. Tüm yazarlar yazar sıralamasını Telif Hakkı Formunda imzalı olarak belirtmek zorundadırlar.

Yazarlık için yeterli ölçütleri karşılamayan ancak çalışmaya katkısı olan tüm bireyler “teşekkür / bilgiler” kısmında sıralanmalıdır. Bunlara örnek olarak ise sadece teknik destek sağlayan, yazıma yardımcı olan ya da sadece genel bir destek sağlayan, finansal ve materyal desteği sunan kişiler verilebilir.

Bütün yazarlar, araştırmanın sonuçlarını ya da bilimsel değerlendirmeyi etkileyebilme potansiyeli olan finansal ilişkiler, çıkar çatışması ve çıkar rekabetini beyan etmelidirler. Bir yazar kendi yayınlanmış yazısında belirgin bir hata ya da yanlışlık tespit ederse, bu yanlışlıklara ilişkin düzeltme ya da geri çekme için editör ile hemen temasa geçme ve işbirliği yapma sorumluluğunu taşır.

Editör, Hakem Sorumlulukları ve Değerlendirme Süreci

Baş editör, makaleleri, yazarların etnik kökeninden, cinsiyetinden, uyruğundan, dini inancından ve siyasi felsefesinden bağımsız olarak değerlendirir. Yayına gönderilen makalelerin adil bir şekilde çift taraflı kör hakem değerlendirmesinden geçmelerini sağlar. Gönderilen makalelere ilişkin tüm bilginin, makale yayınlanana kadar gizli kalacağını garanti eder. Baş editör içerik ve yayının toplam kalitesinden sorumludur. Gereğinde hata sayfası yayınlamalı ya da düzeltme yapmalıdır.

Baş editör; yazarlar, editörler ve hakemler arasında çıkar çatışmasına izin vermez. Hakem atama konusunda tam yetkiye sahiptir ve dergide yayınlanacak makalelerle ilgili nihai kararı vermekle yükümlüdür.

Hakemlerin araştırmayla ilgili, yazarlarla ve/veya araştırmanın finansal destekçileriyle çıkar çatışmaları olmamalıdır. Değerlendirmelerinin sonucunda tarafsız bir yargıya varmalıdırlar. Gönderilmiş yazılara ilişkin tüm bilginin gizli tutulmasını sağlamalı ve yazar tarafında herhangi bir telif hakkı ihlali ve intihal fark ederlerse editöre raporlamalıdırlar.

Hakem, makale konusu hakkında kendini vasıflı hissetmiyor ya da zamanında geri dönüş sağlaması mümkün görünmüyorsa, editöre bu durumu bildirmeli ve hakem sürecine kendisini dahil etmemesini istemelidir.

Değerlendirme sürecinde editör hakemlere gözden geçirme için gönderilen makalelerin, yazarların özel mülkü olduğunu ve bunun imtiyazlı bir iletişim olduğunu açıkça belirtir. Hakemler ve yayın kurulu üyeleri başka kişilerle makaleleri tartışamazlar. Hakemlerin kimliğinin gizli kalmasına özen gösterilmelidir. Bazı durumlarda editörün kararıyla, ilgili hakemlerin makaleye ait yorumları aynı makaleyi yorumlayan diğer hakemlere gönderilerek hakemlerin bu süreçte aydınlatılması sağlanabilir.

Hakem Süreci

Daha önce yayınlanmamış ya da yayınlanmak üzere başka bir dergide halen değerlendirilmediği olmayan ve her bir yazar tarafından onaylanan makaleler değerlendirilmek üzere kabul edilir. Gönderilen ve ön kontrolü geçen makaleler iThenticate yazılımı kullanılarak intihal için taranır. İntihal kontrolünden sonra, uygun olan makaleler baş editör tarafından orijinallik, metodoloji, işlenen konunun önemi ve dergi kapsamı ile uyumluluğu açısından değerlendirilir. Baş editör, makaleleri, yazarların etnik kökeninden, cinsiyetinden, uyruğundan, dini inancından ve siyasi felsefesinden bağımsız olarak değerlendirir. Yayına gönderilen makalelerin adil bir şekilde çift taraflı kör hakem değerlendirmesinden geçmelerini sağlar.

Seçilen makaleler en az iki ulusal/uluslararası hakeme değerlendirmeye gönderilir; yayın kararı, hakemlerin talepleri doğrultusunda yazarların gerçekleştirdiği düzenlemelerin ve hakem sürecinin sonrasında baş editör tarafından verilir.

Hakemlerin değerlendirmeleri objektif olmalıdır. Hakem süreci sırasında hakemlerin aşağıdaki hususları dikkate alarak değerlendirmelerini yapmaları beklenir.

- Makale yeni ve önemli bir bilgi içeriyor mu?
- Öz, makalenin içeriğini net ve düzgün bir şekilde tanımlıyor mu?
- Yöntem bütünlüklü ve anlaşılır şekilde tanımlanmış mı?
- Yapılan yorum ve varılan sonuçlar bulgularla kanıtlanıyor mu?
- Alandaki diğer çalışmalara yeterli referans verilmiş mi?
- Dil kalitesi yeterli mi?

Hakemler, gönderilen makalelere ilişkin tüm bilginin, makale yayınlanana kadar gizli kalmasını sağlamalı ve yazar tarafında herhangi bir telif hakkı ihlali ve intihal fark ederlerse editöre raporlamalıdır. Hakem, makale konusu hakkında kendini vasıflı hissetmiyor ya da zamanında geri dönüş sağlaması mümkün görünmüyorsa, editöre bu durumu bildirmeli ve hakem sürecine kendisini dahil etmemesini istemelidir.

Değerlendirme sürecinde editör hakemlere gözden geçirme için gönderilen makalelerin, yazarların özel mülkü olduğunu ve bunun imtiyazlı bir iletişim olduğunu açıkça belirtir. Hakemler ve yayın kurulu üyeleri başka kişilerle makaleleri tartışamazlar. Hakemlerin kimliğinin gizli kalmasına özen gösterilmelidir.

YAZILARIN HAZIRLANMASI

Dil

Dergide Türkçe ve İngilizce makaleler yayınlanır. Gönderilen makalelerde makale dilinde öz, İngilizce öz ve İngilizce geniş özet olmalıdır. Ancak makale İngilizce ise, İngilizce geniş özet istenmez.

Yazıların Hazırlanması ve Yazım Kuralları

Aksi belirtilmedikçe gönderilen yazılarla ilgili tüm yazışmalar ilk yazarla yapılacaktır. Makale gönderimi online olarak https://jtl.istanbul.edu.tr/en/_ sayfasından erişilen <https://mc04.manuscriptcentral.com/jtl> üzerinden yapılmalıdır. Gönderilen yazılar, makale türünü belirten ve makaleyle ilgili detayları içeren (bkz: Son Kontrol Listesi) Kapak Sayfası; yazının elektronik formunu içeren Microsoft Word 2003 ve üzerindeki versiyonları ile yazılmış elektronik dosya ve tüm yazarların imzaladığı Telif Hakkı Anlaşması Formu eklenerek gönderilmelidir.

1. Makale ana metninde, çift taraflı kör hakemlik süreci gereği, yazarın / yazarların kimlik bilgileri yer almamalıdır.
2. Yayınlanmak üzere gönderilen makale ile birlikte yazar bilgilerini içeren Kapak Sayfası gönderilmelidir. Kapak Sayfasında, makalenin başlığı, yazar veya yazarların bağlı oldukları kurum ve unvanları, kendilerine ulaşılacak adresler, cep, iş ve faks numaraları, ORCID ve e-posta adresleri yer almalıdır (bkz. Son Kontrol Listesi).
3. Giriş bölümünden önce 180-200 kelimelik çalışmanın kapsamını, amacını, ulaşılan sonuçları ve kullanılan yöntemi kaydeden makale dilinde öz ve İngilizce öz ile 600-800 kelimelik İngilizce genişletilmiş özet yer almalıdır. Makale İngilizce ise Türkçe özet ve İngilizce geniş özet istenmez. Çalışmanın içeriğini temsil eden, 3'er adet anahtar kelime yer almalıdır.

4. Çalışmaların başlıca şu unsurları içermesi gerekmektedir: Makale Türkçe ise; Türkçe dilinde başlık, öz ve anahtar kelimeler; İngilizce başlık, öz ve anahtar kelimeler, İngilizce geniş özet, ana metin bölümleri, kaynaklar, tablolar ve şekiller. Makale İngilizce ise; sadece İngilizce dilinde başlık öz ve anahtar kelimeler, ana metin bölümleri, kaynaklar, tablolar ve şekiller yer almalıdır
5. Referanslar derginin benimsediği American Psychological Association (APA) 6 stiline uygun olarak hazırlanmalıdır.
6. Kurallar dâhilinde dergimize yayınlanmak üzere gönderilen çalışmaların her türlü sorumluluğu yazar/ yazarlarına aittir.

7. Makale Türleri:

Araştırma Makaleleri: Orijinal araştırma makaleleri derginin kapsamına uygun konularda önemli, özgün bilimsel sonuçlar sunan araştırmaları raporlayan yazılardır. Orijinal araştırma makaleleri, Öz, Anahtar Kelimeler, İngilizce Geniş Özet, Giriş, Yöntem, Bulgular, Tartışma, Sonuçlar, Kaynaklar bölümlerinden ve Tablo, Grafik ve Şekillerden oluşur.

Öz: İngilizce özetler 180-200 kelime arasında olmalı ve çalışmanın amacını, yöntemini, bulgularını ve sonuçlarını belirtmelidir. Makale Türkçe ise; Türkçe ve İngilizce 180-200 kelimelik özet ve 600-800 kelimelik İngilizce genişletilmiş özet de özlerden sonra yer almalıdır.

Giriş: Giriş bölümünde konunun önemi, tarihçe ve bugüne kadar yapılmış çalışmalar, hipotez ve çalışmanın amacından söz edilmelidir. Hem ana hem de ikincil amaçlar açıkça belirtilmelidir. Sadece gerçekten ilişkili kaynaklar gösterilmeli ve çalışmaya ait veri ya da sonuçlardan söz edilmemelidir. Giriş bölümünün sonunda çalışmanın amacı, araştırma soruları veya hipotezler yazılmalıdır.

Yöntem: Yöntem bölümünde, veri kaynakları, çalışmaya katılanlar, ölçekler, görüşme/değerlendirmeler ve temel ölçümler, yapılan işlemler ve istatistiksel yöntemler yer almalıdır. Yöntem bölümü, sadece çalışmanın planı ya da protokolü yazılırken bilinen bilgileri içermelidir; çalışma sırasında elde edilen tüm bilgiler bulgular kısmında verilmelidir.

Bulgular: Ana bulgular istatistiksel verilerle desteklenmiş olarak eksiksiz verilmeli ve bu bulgular uygun tablo, grafik ve şekillerle görsel olarak da belirtilmelidir. Bulgular yazıda, tablolarda ve şekillerde mantıklı bir sırayla önce en önemli sonuçlar olacak şekilde verilmelidir. Tablo ve şekillerdeki tüm veriyi yazıda vermemeli, sadece önemli noktaları vurgulanmalıdır.

Tartışma: Tartışma bölümünde o çalışmadan elde edilen veriler, kurulan hipotez doğrultusunda hipotezi destekleyen ve desteklemeyen bulgular ve sonuçlar irdelenmeli ve bu bulgu ve sonuçlar literatürde bulunan benzeri çalışmalarla kıyaslanmalı, farklılıklar varsa açıklanmalıdır. Çalışmanın yeni ve önemli yanları ve bunlardan çıkan sonuçları vurgulanmalıdır. Giriş ya da sonuçlar kısmında verilen bilgi ve veriler tekrarlanmamalıdır.

Sonuçlar: Çalışmadan elde edilen sonuçlar belirtilmelidir. Sonuçlar, çalışmanın amaçları ile bağlantılı olmalıdır, ancak veriler tarafından yeterince desteklenmeyen niteliksiz ifadeler ve sonuçlardan kaçınılmalıdır. Yeni hipotezler gerektiğinde belirtilmeli, ancak açıkça tanımlanmalıdır.

Şekil, Resim, Tablo ve Grafikler: Metin içinde kullanılan fotoğraf, plân, harita vb. materyallerin “.jpg /.tiff” uzantılı kayıtları gönderilecek dokümanlara eklenmelidir. Bu tür belgelerin baskı tekniğine uygun çözünürlükte (en az 300 piksel) ve sayfa alanını aşmayacak büyüklükte olmasına dikkat edilmelidir. Fotoğraf ve levhaların 10 sayfayı aşmamasına dikkat edilmeli ve metin içinde parantezle atıfta bulunulan resim, harita veya diğer ekler makalenin sonuna eklenmelidir.

Derleme: Yazının konusunda birikimi olan ve bu birikimleri uluslararası literatüre yayın ve atıf sayısı olarak yansımış uzmanlar tarafından hazırlanmış yazılar değerlendirmeye alınır. Yazarları dergi tarafından da davet edilebilir. Derleme yazısı, başlık, öz, anahtar kelimeler, İngilizce geniş özet (Türkçe, Almanca, Fransızca ve İtalyanca makaleler için), ana metin bölümleri ve kaynaklardan oluşmalıdır.

KAYNAKLAR

Referans Stili ve Formatı

Journal of Transportation and Logistics, metin içi alıntılama ve kaynak gösterme için APA (American Psychological Association) kaynak sitilinin 6. edisyonunu benimser. APA 6.Edisyon hakkında bilgi için:

- American Psychological Association. (2010). Publication manual of the American Psychological Association (6th ed.). Washington, DC: APA.
- <http://www.apastyle.org/>

Kaynakların doğruluğundan yazar(lar) sorumludur. Tüm kaynaklar metinde belirtilmelidir. Kaynaklar aşağıdaki örneklerdeki gibi gösterilmelidir.

Metin İçinde Kaynak Gösterme

Kaynaklar metinde parantez içinde yazarların soyadı ve yayın tarihi yazılarak belirtilmelidir.

Birden fazla kaynak gösterilecekse kaynaklar arasında (;) işareti kullanılmalıdır. Kaynaklar alfabetik olarak sıralanmalıdır.

Örnekler:

Birden fazla kaynak;

(Esin ve ark., 2002; Karasar 1995)

Tek yazarlı kaynak;

(Akyolcu, 2007)

İki yazarlı kaynak;

(Sayiner ve Demirci, 2007, s. 72)

Üç, dört ve beş yazarlı kaynak;

Metin içinde ilk kullanımda: (Ailen, Ciambune ve Welch, 2000, s. 12–13) Metin içinde tekrarlayan kullanımlarda: (Ailen ve ark., 2000)

Altı ve daha çok yazarlı kaynak;

(Çavdar ve ark., 2003)

Kaynaklar Bölümünde Kaynak Gösterme

Kullanılan tüm kaynaklar metnin sonunda ayrı bir bölüm halinde yazar soyadlarına göre alfabetik olarak numaralandırılmadan verilmelidir.

Kaynak yazımı ile ilgili örnekler aşağıda verilmiştir.

Kitap

a) Türkçe Kitap

Karasar, N. (1995). Araştırmalarda rapor hazırlama (8.bs). Ankara: 3A Eğitim Danışmanlık Ltd.

b) Türkçeye Çevrilmiş Kitap

Mucchielli, A. (1991). Zihniyetler (A. Kotil, Çev.). İstanbul: İletişim Yayınları.

c) Editörlü Kitap

Ören, T., Üney, T. ve Çölkesen, R. (Ed.). (2006). *Türkiye bilişim ansiklopedisi*. İstanbul: Papatya Yayıncılık.

d) Çok Yazarlı Türkçe Kitap

Tonta, Y., Bitirim, Y. ve Sever, H. (2002). *Türkçe arama motorlarında performans değerlendirme*. Ankara: Total Bilişim.

e) İngilizce Kitap

Kamien R., & Kamien A. (2014). *Music: An appreciation*. New York, NY: McGraw-Hill Education.

f) İngilizce Kitap İçerisinde Bölüm

Bassett, C. (2006). Cultural studies and new media. In G. Hall & C. Birchall (Eds.), *New cultural studies: Adventures in theory* (pp. 220–237). Edinburgh, UK: Edinburgh University Press

g) Türkçe Kitap İçerisinde Bölüm

Erkmen, T. (2012). Örgüt kültürü: Fonksiyonları, öğeleri, işletme yönetimi ve liderlikteki önemi. M. Zencirkıran (Ed.), *Örgüt sosyolojisi kitabı* içinde (s. 233–263). Bursa: Dora Basım Yayın.

h) Yayıncının ve Yazarın Kurum Olduğu Yayın

Türk Standartları Enstitüsü. (1974). *Adlandırma ilkeleri*. Ankara: Yazar.

Makale**a) Türkçe Makale**

Mutlu, B. ve Savaşer, S. (2007). Çocuğu ameliyat sonrası yoğun bakımda olan ebeveynlerde stres nedenleri ve azaltma girişimleri. *İstanbul Üniversitesi Florence Nightingale Hemşirelik Dergisi*, 15(60), 179–182.

b) İngilizce Makale

de Cillia, R., Reisingl, M., & Wodak, R. (1999). The discursive construction of national identity. *Discourse and Society*, 10(2), 149–173. <http://dx.doi.org/10.1177/0957926599010002002>

c) Yediden Fazla Yazarlı Makale

Lal, H., Cunningham, A. L., Godeaux, O., Chlibek, R., Diez-Domingo, J., Hwang, S.-J. ... Heineman, T. C. (2015). Efficacy of an adjuvanted herpes zoster subunit vaccine in older adults. *New England Journal of Medicine*, 372, 2087–2096. <http://dx.doi.org/10.1056/NEJMoa1501184>

d) DOI'si Olmayan Online Edinilmiş Makale

Al, U. ve Doğan, G. (2012). Hacettepe Üniversitesi Bilgi ve Belge Yönetimi Bölümü tezlerinin atf analizi. *Türk Kütüphaneciliği*, 26, 349–369. Erişim adresi: <http://www.tk.org.tr/>

e) DOI'si Olan Makale

Turner, S. J. (2010). Website statistics 2.0: Using Google Analytics to measure library website effectiveness. *Technical Services Quarterly*, 27, 261–278. <http://dx.doi.org/10.1080/07317131003765910>

f) Advance Online Olarak Yayımlanmış Makale

Smith, J. A. (2010). Citing advance online publication: A review. *Journal of Psychology*. Advance online publication. <http://dx.doi.org/10.1037/a45d7867> **g) Popüler Dergi Makalesi**

Semercioğlu, C. (2015, Haziran). Sıradanlığın rayihası. *Sabit Fikir*, 52, 38–39.

Tez, Sunum, Bildiri**a) Türkçe Tezler**

Sarı, E. (2008). Kültür kimlik ve politika: *Mardin'de kültürlerarasılık*. (Doktora Tezi). Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

b) Ticari Veritabanında Yer Alan Yüksek Lisans Ya da Doktora Tezi

Van Brunt, D. (1997). *Networked consumer health information systems* (Doctoral dissertation). Available from ProQuest Dissertations and Theses. (UMI No. 9943436)

c) Kurumsal Veritabanında Yer Alan İngilizce Yüksek Lisans/Doktora Tezi

Yaylalı-Yıldız, B. (2014). *University campuses as places of potential publicness: Exploring the politicals, social and cultural practices in Ege University* (Doctoral dissertation). Retrieved from: <http://library.iyte.edu.tr/tr/hizli-erisim/iyte-tez-portali>

d) Web'de Yer Alan İngilizce Yüksek Lisans/Doktora Tezi

Tonta, Y. A. (1992). *An analysis of search failures in online library catalogs* (Doctoral dissertation, University of California, Berkeley). Retrieved from <http://yunus.hacettepe.edu.tr/tonta/yayinlar/phd/ickapak.html>

e) Dissertations Abstracts International'da Yer Alan Yüksek Lisans/Doktora Tezi

Appelbaum, L. G. (2005). Three studies of human information processing: Texture amplification, motion representation, and figure-ground segregation. *Dissertation Abstracts International: Section B. Sciences and Engineering*, 65(10), 5428.

f) Sempozyum Katkısı

Krinsky-McHale, S. J., Zigman, W. B., & Silverman, W. (2012, August). Are neuropsychiatric symptoms markers of prodromal Alzheimer's disease in adults with Down syndrome? In W. B. Zigman (Chair), *Predictors of mild cognitive impairment, dementia, and mortality in adults with Down syndrome*. Symposium conducted at American Psychological Association meeting, Orlando, FL.

g) Online Olarak Erişilen Konferans Bildiri Özeti

Çınar, M., Doğan, D. ve Seferoğlu, S. S. (2015, Şubat). Eğitimde dijital araçlar: *Google sınıf uygulaması üzerine bir değerlendirme* [Öz]. Akademik Bilişim Konferansında sunulan bildiri, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir. Erişim adresi: <http://ab2015.anadolu.edu.tr/index.php?menu=5&submenu=27>

h) Düzenli Olarak Online Yayımlanan Bildiriler

Herculano-Houzel, S., Collins, C. E., Wong, P., Kaas, J. H., & Lent, R. (2008). The basic nonuniformity of the cerebral cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105, 12593–12598. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0805417105>

i) Kitap Şeklinde Yayımlanan Bildiriler

Schneider, R. (2013). Research data literacy. S. Kurbanoglu ve ark. (Ed.), *Communications in Computer and Information Science: Vol. 397. Worldwide Communalities and Challenges in Information Literacy Research and Practice* içinde (s. 134–140). Cham, İsviçre: Springer. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-03919-0>

j) Kongre Bildirisi

Çepni, S., Bacanak A. ve Özsevgeç T. (2001, Haziran). *Fen bilgisi öğretmen adaylarının fen branşlarına karşı tutumları ile fen branşlarındaki başarılarının ilişkisi*. X. Ulusal Eğitim Bilimleri Kongresi'nde sunulan bildiri, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu

Diğer Kaynaklar

a) Gazete Yazısı

Toker, Ç. (2015, 26 Haziran). 'Unutma' notları. *Cumhuriyet*, s. 13.

b) Online Gazete Yazısı

Tamer, M. (2015, 26 Haziran). E-ticaret hamle yapmak için tüketiciyi bekliyor. *Milliyet*. Erişim adresi: <http://www.milliyet>

c) Web Page/Blog Post

Bordwell, D. (2013, June 18). David Koepp: Making the world movie-sized [Web log post]. Retrieved from <http://www.davidbordwell>

d) Online Ansiklopedi/Sözlük

Bilgi mimarisi. (2014, 20 Aralık). Wikipedi içinde. Erişim adresi: http://tr.wikipedia.org/wiki/Bilgi_mimarisi Marcoux, A. (2008). Business ethics. In E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford encyclopedia of philosophy*. Retrieved from <http://plato.stanford.edu/entries/ethics-business/>

e) Podcast

Radyo ODTÜ (Yapımcı). (2015, 13 Nisan). *Modern sabahlar* [Podcast]. Erişim adresi: <http://www.radyoodtu.com.tr/>

f) Bir Televizyon Dizisinden Tek Bir Bölüm

Shore, D. (Senarist), Jackson, M. (Senarist) ve Bookstaver, S. (Yönetmen). (2012). *Runaways* [Televizyondizisi bölümü]. D. Shore (Baş yapımcı), *House M.D.* içinde. New York, NY: Fox Broadcasting.

g) Müzik Kaydı

Say, F. (2009). Galata Kulesi. *İstanbul senfonisi* [CD] içinde. İstanbul: Ak Müzik.

SON KONTROL LİSTESİ

Aşağıdaki listede eksik olmadığından emin olun:

- Makalenin türünün belirtilmiş olduğu
- Başka bir dergiye gönderilmemiş olduğu
- Sponsor veya ticari bir firma ile ilişkisi varsa, bunun belirtildiği
- İngilizce yönünden kontrolünün yapıldığı
- Referansların derginin benimsediği APA 6 edisyonuna uygun olarak düzenlendiği
- Yazarlara Bilgide detaylı olarak anlatılan dergi politikalarının gözden geçirildiği
- Telif Hakkı Anlaşması Formu
- Daha önce basılmış materyal (yazı-resim-tablo) kullanılmış ise izin belgesi
- Kapak sayfası
- ✓ Makalenin kategorisi
- ✓ Makale dilinde ve İngilizce başlık
- ✓ Yazarların ismi soyadı, unvanları ve bağlı oldukları kurumlar (üniversite ve fakülte bilgisinden sonra şehir ve ülke bilgisi), e-posta adresleri

- ✓ Sorumlu yazarın e-posta adresi, açık yazışma adresi, iş telefonu, GSM, faks nosu
- ✓ Tüm yazarların ORCID'leri
- ✓ Finansal destek (varsa belirtiniz)
- ✓ Çıkar çatışması (varsa belirtiniz)
- ✓ Teşekkür (varsa belirtiniz)
- Makale ana metni
 - ✓ Makale Türkçe ise:
 - ✓ Makalenin Türkçe ve İngilizce başlığı
 - ✓ Özetler; 180-200 kelime Türkçe ve 180-200 kelime İngilizce
 - ✓ Anahtar Kelimeler: 3-5 arası Türkçe ve 3-5 arası İngilizce
 - ✓ İngilizce genişletilmiş özet (Extended Abstract) 600-800 kelime
 - ✓ Makale ana metin bölümleri
 - ✓ Teşekkür (varsa belirtiniz)
 - ✓ Kaynaklar
 - ✓ Tablolar-Resimler, Şekiller (başlık, tanım ve alt yazılarıyla)
- ✓ Makale İngilizce ise:
 - ✓ Makalenin İngilizce başlığı
 - ✓ 180-200 kelime İngilizce özet
 - ✓ İngilizce anahtar kelimeler
 - ✓ Makale ana metin bölümleri
 - ✓ Teşekkür (varsa belirtiniz)
 - ✓ Kaynaklar
 - ✓ Tablolar-Resimler, Şekiller (başlık, tanım ve alt yazılarıyla)

AIM AND SCOPE

Journal of Transportation and Logistics (JTL) is a multidisciplinary and semi-annual published official journal of İstanbul University, The Faculty of Transportation and Logistics. The aim of the journal is to disseminate the new ideas on the issues and problems faced by transportation and logistics industry which becomes irrevocable for the global economy. JTL provides academicians and practitioners with a dynamic platform to discuss and analyze the new issues for transportation and logistics. It presents an independent, original and elaborated analysis to facilitate the interchange of information about logistics and supply chain management among business planners and researchers on a world-wide basis as well as a platform for new thinking on the problems and techniques of logistics and supply chain management. Academicians and practitioners are invited to submit articles, research papers, case studies and review articles that progress the science and practice of transportation, logistics and supply chain management. While articles in any area of transportation, logistics or supply chain management are welcomed, the editors are especially interested in those dealing with managerial applications of theory and technique. Articles which provide guidelines for framing, interpreting or implementing the transport and logistics process in the supply chain are of particular interest. Thus, subjects covered in this journal may include business; entrepreneurship; management and accounting; corporate governance; customer relationship management (CRM); marketing; human resources management; economics, finance, business & industry; industry & industrial studies; logistics; inbound and outbound logistics; supply chain management; transport industries; green logistics; reverse logistics; humanitarian logistics; sustainability; city logistics. All articles are anonymously reviewed for publication by referees who look for original ideas that are clearly presented.

POLICIES

Publication Policy

The journal is committed to upholding the highest standards of publication ethics and pays regard to Principles of Transparency and Best Practice in Scholarly Publishing published by the Committee on Publication Ethics (COPE), the Directory of Open Access Journals (DOAJ), the Open Access Scholarly Publishers Association (OASPA), and the World Association of Medical Editors (WAME) on [https:// publicationethics.org/resources/guidelines-new/principles-transparency-and-best-practice-scholarlypublishing](https://publicationethics.org/resources/guidelines-new/principles-transparency-and-best-practice-scholarlypublishing)

The subjects covered in the manuscripts submitted to the Journal for publication must be in accordance with the aim and scope of the Journal. Only those manuscripts approved by every individual author and that were not published before in or sent to another journal, are accepted for evaluation.

Changing the name of an author (omission, addition or order) in papers submitted to the Journal requires written permission of all declared authors.

Plagiarism, duplication, fraud authorship/denied authorship, research/data fabrication, salami slicing/salami publication, breaching of copyrights, prevailing conflict of interest are unethical behaviors. All manuscripts not in accordance with the accepted ethical standards will be removed from the publication. This also contains any possible malpractice discovered after the publication.

Plagiarism

Submitted manuscripts that pass preliminary control are scanned for plagiarism using iThenticate software. If plagiarism/self-plagiarism will be found authors will be informed. Editors may resubmit manuscript for similarity check at any peer-review or production stage if required. High similarity scores may lead to rejection of a manuscript before and even after acceptance. Depending on the type of article and the percentage of similarity score taken from each article, the overall similarity score is generally expected to be less than 15 or 20%.

Double Blind Peer-Review

After plagiarism check, the eligible ones are evaluated by the editors-in-chief for their originality, methodology, the importance of the subject covered and compliance with the journal scope. The editor provides a fair double-blind peer review of the submitted articles and hands over the papers matching the formal rules to at least two national/international referees for evaluation and gives green light for publication upon modification by the authors in accordance with the referees' claims.

Open Access Statement

The journal is an open access journal and all content is freely available without charge to the user or his/ her institution. Except for commercial purposes, users are allowed to read, download, copy, print, search, or link to the full texts of the articles in this journal without asking prior permission from the publisher or the author. This is in accordance with the HYPERLINK “[https://www.budapestopenaccessinitiative.org/ read](https://www.budapestopenaccessinitiative.org/read)” BOAI definition of open access.

The open access articles in the journal are licensed under the terms of the Creative Commons AttributionNonCommercial 4.0 International (HYPERLINK “[https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed. en](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.en)” CC BY-NC 4.0) license. (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.en>)

Article Processing Charge

All expenses of the journal are covered by the Istanbul University. Processing and publication are free of charge with the journal. There is no article processing charges or submission fees for any submitted or accepted articles.

Copyright Notice

Authors publishing with the journal retain the copyright to their work licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (CC BY-NC 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) and grant the Publisher non-exclusive commercial right to publish the work. CC BY-NC 4.0 license permits unrestricted, non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ETHICS

Publication Ethics and Publication Malpractice Statement

The Journal of Transportation and Logistics is committed to upholding the highest standards of publication ethics and pays regard to Principles of Transparency and Best Practice in Scholarly Publishing published by the Committee on Publication Ethics (COPE), the Directory of Open Access Journals (DOAJ), to access the Open Access Scholarly Publishers Association (OASPA), and the World Association of Medical Editors (WAME) on <https://publicationethics.org/resources/guidelines-new/principles-transparency-and-bestpractice-scholarly-publishing>

All parties involved in the publishing process (Editors, Reviewers, Authors and Publisher) are expected to agree on the following ethical principles.

All submissions must be original, unpublished (including as full text in conference proceedings), and not under the review of any other publication synchronously. Each manuscript is reviewed by one of the editors and at least two referees under double-blind peer review process. Plagiarism, duplication, fraud authorship/denied authorship, research/data fabrication, salami slicing/salami publication, breaching of copyrights, prevailing conflict of interest are unethical behaviors.

All manuscripts not in accordance with the accepted ethical standards will be removed from the publication. This also contains any possible malpractice discovered after the publication. In accordance with the code of conduct we will report any cases of suspected plagiarism or duplicate publishing.

Research Ethics

The Journal of Transportation and Logistics adheres to the highest standards in research ethics and follows the principles of international research ethics as defined below. The authors are responsible for the compliance of the manuscripts with the ethical rules.

- Principles of integrity, quality and transparency should be sustained in designing the research, reviewing the design and conducting the research.
- The research team and participants should be fully informed about the aim, methods, possible uses and requirements of the research and risks of participation in research.

- The confidentiality of the information provided by the research participants and the confidentiality of the respondents should be ensured. The research should be designed to protect the autonomy and dignity of the participants.
- Research participants should participate in the research voluntarily, not under any coercion.
- Any possible harm to participants must be avoided. The research should be planned in such a way that the participants are not at risk.
- The independence of research must be clear; and any conflict of interest must be disclosed.
- In experimental studies with human subjects, written informed consent of the participants who decide to participate in the research must be obtained. In the case of children and those under wardship or with confirmed insanity, legal custodian's assent must be obtained.
- If the study is to be carried out in any institution or organization, approval must be obtained from this institution or organization.
- In studies with human subject, it must be noted in the method's section of the manuscript that the informed consent of the participants and ethics committee approval from the institution where the study has been conducted have been obtained.

Author Responsibilities

It is authors' responsibility to ensure that the article is in accordance with scientific and ethical standards and rules. And authors must ensure that submitted work is original. They must certify that the manuscript has not previously been published elsewhere or is not currently being considered for publication elsewhere, in any language. Applicable copyright laws and conventions must be followed. Copyright material (e.g. tables, figures or extensive quotations) must be reproduced only with appropriate permission and acknowledgement. Any work or words of other authors, contributors, or sources must be appropriately credited and referenced.

All the authors of a submitted manuscript must have direct scientific and academic contribution to the manuscript. The author(s) of the original research articles is defined as a person who is significantly involved in "conceptualization and design of the study", "collecting the data", "analyzing the data", "writing the manuscript", "reviewing the manuscript with a critical perspective" and "planning/conducting the study of the manuscript and/or revising it". Fund raising, data collection or supervision of the research group are not sufficient roles to be accepted as an author. The author(s) must meet all these criteria described above. The order of names in the author list of an article must be a co-decision and it must be indicated in the Copyright Agreement Form. The individuals who do not meet the authorship criteria but contributed to the study must take place in the acknowledgement section. Individuals providing technical support, assisting writing, providing a general support, providing material or financial support are examples to be indicated in acknowledgement section.

All authors must disclose all issues concerning financial relationship, conflict of interest, and competing interest that may potentially influence the results of the research or scientific judgment.

When an author discovers a significant error or inaccuracy in his/her own published paper, it is the author's obligation to promptly cooperate with the Editor to provide retractions or corrections of mistakes.

Responsibility for the Editor and Reviewers and Evaluation Process

Editor-in-Chief evaluates manuscripts for their scientific content without regard to ethnic origin, gender, citizenship, religious belief or political philosophy of the authors. He/She provides a fair double-blind peer review of the submitted articles for publication and ensures that all the information related to submitted manuscripts is kept as confidential before publishing.

Editor-in-Chief is responsible for the contents and overall quality of the publication. He/She must publish errata pages or make corrections when needed.

Editor-in-Chief does not allow any conflicts of interest between the authors, editors and reviewers. Only he has the full authority to assign a reviewer and is responsible for final decision for publication of the manuscripts in the journal.

Reviewers must have no conflict of interest with respect to the research, the authors and/or the research funders. Their judgments must be objective.

Reviewers must ensure that all the information related to submitted manuscripts is kept as confidential and must report to the editor if they are aware of copyright infringement and plagiarism on the author's side.

A reviewer who feels unqualified to review the topic of a manuscript or knows that its prompt review will be impossible should notify the editor and excuse himself from the review process.

The editor informs the reviewers that the manuscripts are confidential information and that this is a privileged interaction. The reviewers and editorial board cannot discuss the manuscripts with other persons. The anonymity of the referees must be ensured. In particular situations, the editor may share the review of one reviewer with other reviewers to clarify a particular point.

Peer Review Process

Only those manuscripts approved by its every individual author and that were not published before in or sent to another journal, are accepted for evaluation.

Submitted manuscripts that pass preliminary control are scanned for plagiarism using iThenticate software. After plagiarism check, the eligible ones are evaluated by Editor-in-Chief for their originality, methodology, the importance of the subject covered and compliance with the journal scope. Editor-in-Chief evaluates manuscripts for their scientific content without regard to ethnic origin, gender, citizenship, religious belief or political philosophy of the authors and ensures a fair double-blind peer review of the selected manuscripts.

The selected manuscripts are sent to at least two national/international external referees for evaluation and publication decision is given by Editor-in-Chief upon modification by the authors in accordance with the referees' claims.

Editor-in-Chief does not allow any conflicts of interest between the authors, editors and reviewers and is responsible for final decision for publication of the manuscripts in the journal.

Reviewers' judgments must be objective. Reviewers' comments on the following aspects are expected while conducting the review.

- Does the manuscript contain new and significant information?
- Does the abstract clearly and accurately describe the content of the manuscript?
- Is the problem significant and concisely stated?
- Are the methods described comprehensively?
- Are the interpretations and conclusions justified by the results?
- Is adequate references made to other Works in the field?
- Is the language acceptable?

Reviewers must ensure that all the information related to submitted manuscripts is kept as confidential and must report to the editor if they are aware of copyright infringement and plagiarism on the author's side.

A reviewer who feels unqualified to review the topic of a manuscript or knows that its prompt review will be impossible should notify the editor and excuse himself from the review process.

The editor informs the reviewers that the manuscripts are confidential information and that this is a privileged interaction. The reviewers and editorial board cannot discuss the manuscripts with other persons. The anonymity of the referees is important.

MANUSCRIPT ORGANIZATION

Language

Articles in Turkish and English are published. Submitted manuscript must include an abstract both in the article language and in English, and an extended abstract in English as well. However extended abstract in English is not required for articles in English.

Manuscript Organization and Submission

All correspondence will be sent to the first-named author unless otherwise specified. Manuscript is to be submitted online via <https://jtl.istanbul.edu.tr/en/> that can be accessed at <https://mc04.manuscriptcentral.com/jtl> and it must be accompanied by a Title Page specifying the article category (i.e. research article, review etc.) and including information about the manuscript (see the Submission Checklist). Manuscripts should be prepared in Microsoft Word 2003 and upper versions. In addition, Copyright Agreement Form that has to be signed by all authors must be submitted.

1. Manuscripts should be prepared using the Article Template. Due to double blind peer review, manuscript file must not include any information about the author.
2. A title page including author information must be submitted together with the manuscript. The title page is to include fully descriptive title of the manuscript and, affiliation, title, e-mail address, ORCID, postal address, phone, mobile phone and fax number of the author(s) (see The Submission Checklist).
3. Before the introduction part, there should be an abstract of 180-200 words in English. If the manuscript is in Turkish, extended abstract in English between 600-800 word is required.. Underneath the abstracts, 3 keywords that inform the reader about the content of the study should be specified.
4. The manuscripts should contain mainly these components: title, abstract and keywords; extended abstract in English (for articles in Turkish), sections, references, tables and figures.
5. References should be in accordance with American Psychological Association (APA) style 6th Edition.
6. Authors are responsible for all statements made in their work submitted to the journal for publication.

7. Article Types

Research Article: Original research articles report substantial and original scientific results within the journal scope. Original research articles are comprised of Abstract, Key Words, Introduction, Methods, Results, Discussion, Conclusion, References and Figures, Tables and Graphics.

Abstract: The abstracts in English must be between 180-200 words and state aim, method, result and conclusions of the study. If the article is in Turkish 180-200 words of abstract both in Turkish and English and extended abstract of 600-800 words in English must be written as well following the abstracts.

Introduction: This section must contain a clear statement of the general and specific objectives as well as the hypotheses which the work is designed to test. It should also give a brief account of the reported literature. It should clearly state the primary and secondary purposes of the article. Only, the actual references related with the issues have to be indicated and data or findings related with the current study must not be included in this section.

Methods: This section must contain explicit, concise descriptions of all procedures, materials and methods (i.e. data sources, participants, scales, interviews/reviews, basic measurements, applications, statistical methods) used in the investigation to enable the reader to judge their accuracy, reproducibility, etc. This section should include the known findings at the beginning of the study and the findings during the study must be reported in results section.

Results: The results should be presented in logical sequence in the text, tables, and figures, giving the main or most important findings first. The all the data in the tables or figures should not be repeated in the text; only the most important observations must be emphasized or summarized.

Discussion: The findings of the study, the findings and results which support or do not support the hypothesis of the study should be discussed, results should be compared and contrasted with findings of other studies in the literature and the different findings from other studies should be explained. The new and important aspects of the study and the conclusions that follow from them should be emphasized. The data or other information given in the Introduction or the Results section should not be repeated in detail.

Conclusions: Conclusions derived from the study should be stated. The conclusions should be linked with the goals of the study but unqualified statements and conclusions not adequately supported by the data should be avoided. New hypotheses should be stated when warranted, but should be labeled clearly as such.

Figures, Tables and Graphics: Figures, tables and graphics materials should be “.jpg, .tiff or .jpeg” format and they should be submitted with the article. These materials should be min. 300 pixels and they must not be bigger than page size. The illustrations should not exceed 10 pages. All illustrations should be labelled and a list of figures with captions, legends, and credits should be provided on a separate page.

Review Article: Reviews prepared by authors who have extensive knowledge on a particular field and whose scientific background has been translated into a high volume of publications with a high citation potential are welcomed. These authors may even be invited by the journal. Review article should contain title, abstract and keywords; body text with sections, and references.

REFERENCES

Reference Style and Format

The Journal of Transportation and Logistics complies with APA (American Psychological Association) style 6th Edition for referencing and quoting. For more information:

- American Psychological Association. (2010). Publication manual of the American Psychological Association (6th ed.). Washington, DC: APA.
- <http://www.apastyle.org>

Accuracy of citation is the author's responsibility. All references should be cited in text. Reference list must be in alphabetical order. Type references in the style shown below.

Citations in the Text

Citations must be indicated with the author surname and publication year within the parenthesis.

If more than one citation is made within the same parenthesis, separate them with (;).

Samples:

More than one citation;

(Esin, et al., 2002; Karasar, 1995)

Citation with one author;

(Akyolcu, 2007)

Citation with two authors;

(Sayiner & Demirci, 2007)

Citation with three, four, five authors;

First citation in the text: (Ailen, Ciembrune, & Welch, 2000) Subsequent citations in the text: (Ailen, et al.,2000)

Citations with more than six authors;

(Çavdar, et al., 2003)

Citations in the Reference

All the citations done in the text should be listed in the References section in alphabetical order of author surname without numbering. Below given examples should be considered in citing the references.

Basic Reference Types

Book

a) Turkish Book

Karasar, N. (1995). *Araştırmalarda rapor hazırlama* (8th ed.) [Preparing research reports]. Ankara, Turkey: 3A Eğitim Danışmanlık Ltd.

b) Book Translated into Turkish

Mucchielli, A. (1991). *Zihniyetler* [Mindsets] (A. Kotil, Trans.). İstanbul, Turkey: İletişim Yayınları.

c) Edited Book

Ören, T., Üney, T., & Çölkesen, R. (Eds.). (2006). *Türkiye bilişim ansiklopedisi* [Turkish Encyclopedia of Informatics].

İstanbul, Turkey: Papatya Yayıncılık.

d) Turkish Book with Multiple Authors

Tonta, Y., Bitirim, Y., & Sever, H. (2002). *Türkçe arama motorlarında performans değerlendirme* [Performance evaluation in Turkish search engines]. Ankara, Turkey: Total Bilişim.

e) Book in English

Kamien R., & Kamien A. (2014). *Music: An appreciation*. New York, NY: McGraw-Hill Education.

f) Chapter in an Edited Book

Bassett, C. (2006). Cultural studies and new media. In G. Hall & C. Birchall (Eds.), *New cultural studies: Adventures in theory* (pp. 220–237). Edinburgh, UK: Edinburgh University Press.

g) Chapter in an Edited Book in Turkish

Erkmen, T. (2012). Örgüt kültürü: Fonksiyonları, öğeleri, işletme yönetimi ve liderlikteki önemi [Organization culture: Its functions, elements and importance in leadership and business management]. In M. Zencirkıran (Ed.), *Örgüt sosyolojisi* [Organization sociology] (pp. 233–263). Bursa, Turkey: Dora Basım Yayın.

h) Book with the same organization as author and publisher

American Psychological Association. (2009). *Publication manual of the American psychological association* (6th ed.). Washington, DC: Author.

Article

a) Turkish Article

Mutlu, B., & Savaşer, S. (2007). Çocuğu ameliyat sonrası yoğun bakımda olan ebeveynlerde stres nedenleri ve azaltma girişimleri [Source and intervention reduction of stress for parents whose children are in intensive care unit after surgery]. *Istanbul University Florence Nightingale Journal of Nursing*, 15(60), 179–182.

b) English Article

de Cillia, R., Reisigl, M., & Wodak, R. (1999). The discursive construction of national identity. *Discourse and Society*, 10(2), 149–173. <http://dx.doi.org/10.1177/0957926599010002002>

c) Journal Article with DOI and More Than Seven Authors

Lal, H., Cunningham, A. L., Godeaux, O., Chlibek, R., Diez-Domingo, J., Hwang, S.-J. ... Heineman, T. C. (2015). Efficacy of an adjuvanted herpes zoster subunit vaccine in older adults. *New England Journal of Medicine*, 372, 2087–2096. <http://dx.doi.org/10.1056/NEJMoa1501184>

d) Journal Article from Web, without DOI

Sidani, S. (2003). Enhancing the evaluation of nursing care effectiveness. *Canadian Journal of Nursing Research*, 35(3), 26–38. Retrieved from <http://cjr.mcgill.ca>

e) Journal Article with DOI

Turner, S. J. (2010). Website statistics 2.0: Using Google Analytics to measure library website effectiveness. *Technical Services Quarterly*, 27, 261–278. <http://dx.doi.org/10.1080/07317131003765910>

f) Advance Online Publication

Smith, J. A. (2010). Citing advance online publication: A review. *Journal of Psychology*. Advance online publication. <http://dx.doi.org/10.1037/a45d7867>

g) Article in a Magazine

Henry, W. A., III. (1990, April 9). Making the grade in today's schools. *Time*, 135, 28–31.

Doctoral Dissertation, Master's Thesis, Presentation, Proceeding

a) Dissertation/Thesis from a Commercial Database

Van Brunt, D. (1997). *Networked consumer health information systems* (Doctoral dissertation). Available from ProQuest Dissertations and Theses database. (UMI No. 9943436)

b) Dissertation/Thesis from an Institutional Database

Yaylalı-Yıldız, B. (2014). *University campuses as places of potential publicness: Exploring the politicals, social and cultural practices in Ege University* (Doctoral dissertation). Retrieved from Retrieved from: <http://library.iyte.edu.tr/tr/hizli-erisim/iyte-tez-portali>

c) Dissertation/Thesis from Web

Tonta, Y. A. (1992). *An analysis of search failures in online library catalogs* (Doctoral dissertation, University of California, Berkeley). Retrieved from <http://yunus.hacettepe.edu.tr/tonta/yayinlar/phd/ickapak.html>

d) Dissertation/Thesis abstracted in Dissertations Abstracts International

Appelbaum, L. G. (2005). Three studies of human information processing: Texture amplification, motion representation, and figure-ground segregation. *Dissertation Abstracts International: Section B. Sciences and Engineering*, 65(10), 5428.

e) Symposium Contribution

Krinsky-McHale, S. J., Zigman, W. B., & Silverman, W. (2012, August). Are neuropsychiatric symptoms markers of prodromal Alzheimer's disease in adults with Down syndrome? In W. B. Zigman (Chair), *Predictors of mild cognitive impairment, dementia, and mortality in adults with Down syndrome*. Symposium conducted at the meeting of the American Psychological Association, Orlando, FL.

f) Conference Paper Abstract Retrieved Online

Liu, S. (2005, May). *Defending against business crises with the help of intelligent agent based early warning solutions*. Paper presented at the Seventh International Conference on Enterprise Information Systems, Miami, FL. Abstract retrieved from http://www.iceis.org/iceis2005/abstracts_2005.htm

g) Conference Paper - In Regularly Published Proceedings and Retrieved Online

Herculano-Houzel, S., Collins, C. E., Wong, P., Kaas, J. H., & Lent, R. (2008). The basic nonuniformity of the cerebral cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105, 12593–12598. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0805417105>

h) Proceeding in Book Form

Parsons, O. A., Pryzwansky, W. B., Weinstein, D. J., & Wiens, A. N. (1995). Taxonomy for psychology. In J. N. Reich, H. Sands, & A. N. Wiens (Eds.), *Education and training beyond the doctoral degree: Proceedings of the American Psychological Association National Conference on Postdoctoral Education and Training in Psychology* (pp. 45–50). Washington, DC: American Psychological Association.

i) Paper Presentation

Nguyen, C. A. (2012, August). *Humor and deception in advertising: When laughter may not be the best medicine*. Paper presented at the meeting of the American Psychological Association, Orlando, FL.

Other Sources

a) Newspaper Article

Browne, R. (2010, March 21). This brainless patient is no dummy. *Sydney Morning Herald*, 45.

b) Newspaper Article with no Author

New drug appears to sharply cut risk of death from heart failure. (1993, July 15). *The Washington Post*, p.A12.

c) Web Page/Blog Post

Bordwell, D. (2013, June 18). David Koepp: Making the world movie-sized [Web log post]. Retrieved from <http://www.davidbordwell.com>

d) Online Encyclopedia/Dictionary

Ignition. (1989). In Oxford English online dictionary (2nd ed.). Retrieved from <http://dictionary.oed.com>

Marcoux, A. (2008). Business ethics. In E. N. Zalta (Ed.). *The Stanford encyclopedia of philosophy*. Retrieved from <http://plato.stanford.edu/entries/business/>

e) Podcast

Dunning, B. (Producer). (2011, January 12). *in Fact: Conspiracy theories* [Video podcast]. Retrieved from <http://itunes.apple.com/>

f) Single Episode in a Television Series

Egan, D. (Writer), & Alexander, J. (Director). (2005). Failure to communicate. [Television series episode]. In D. Shore (Executive producer), *House*; New York, NY: Fox Broadcasting.

g) Music

Fuchs, G. (2004). Light the menorah. On Eight nights of *Hanukkah* [CD]. Brick, NJ: Kid Kosher.

SUBMISSION CHECKLIST

Ensure that the following items are present:

- Confirm that the category of the manuscript is specified.
- Confirm that “the paper is not under consideration for publication in another journal”.
- Confirm that disclosure of any commercial or financial involvement is provided.
- Confirm that last control for fluent English was done.
- Confirm that journal policies detailed in Information for Authors have been reviewed.
- Confirm that the references cited in the text and listed in the references section are in line with APA 6th.
- Copyright Agreement Form
- Permission of previous published material if used in the present manuscript
- Title page
 - ✓ The category of the manuscript
 - ✓ The title of the manuscript both in the language of the article and in English
 - ✓ All authors’ names and affiliations (institution, faculty/department, city, country), e-mail addresses
 - ✓ Corresponding author’s email address, full postal address, telephone and fax number
 - ✓ ORCIDs of all authors.
 - ✓ Grant support (if exists)
 - ✓ Conflict of interest (if exists)
 - ✓ Acknowledgement (if exists)
- Main Manuscript Document
 - ✓ If the article is in Turkish
 - ✓ Important: Please avoid mentioning the author (s) names in the manuscript
 - ✓ The title of the manuscript both in the language of the article and in English
 - ✓ Abstract: 180-200 words in Turkish and 180-200 words in English
 - ✓ Key words: 3-5 in Turkish and 3-5 in English
 - ✓ Extended abstract in English: 600-800 words
 - ✓ Body text sections
 - ✓ References
 - ✓ All tables, illustrations (figures) (including title, explanation, captions)
 - ✓ If the article is in English
 - ✓ Important: Please avoid mentioning the author (s) names in the manuscript
 - ✓ The title of the manuscript in English only
 - ✓ Abstract: 180-200 words in English
 - ✓ Key words: d 3-5 in English
 - ✓ Body text sections
 - ✓ References
 - ✓ All tables, illustrations (figures) (including title, explanation, captions)